



SKRIPSI – ME 141501

**ANALISA PENGGUNAAN THERMOELECTRIC
SEBAGAI SUMBER ARUS LISTRIK PADA
IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION
(ICCP) DI PELAT LAMBUNG KAPAL**

Muhammad Fajrul Rahman
NRP. 4212 100 141

Dosen Pembimbing :
Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D
Adi Kurniawan, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT – ME 141501

ANALYSIS OF THERMOELECTRIC PERFORMANCE FOR IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION (ICCP) IN SHIP APPLICATION

Muhammad Fajrul Rahman
NRP. 4212 100 141

Advisor :
Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D
Adi Kurniawan, ST., MT.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGGUNAAN THERMOELECTRIC SEBAGAI SUMBER ARUS LISTRIK PADA IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION (ICCP) DI PELAT LAMBUNG KAPAL

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Muhammad Fajrul Rahman
NRP : 4212 100 141

Disetujui oleh
Pembimbing Skripsi

1. Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 197510062002121003
2. Adi Kurniawan, S.T., M.T.
NIP. 198904292014041001



SURABAYA
JULI 2016

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGGUNAAN THERMOELECTRIC SEBAGAI SUMBER ARUS LISTRIK PADA IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION (ICCP) DI PELAT LAMBUNG KAPAL

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Muhammad Fajrul Rahman

NRP : 4212 100 141

Disetujui oleh

Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng. M. Badros Zaman, S.T., M.T.

NIP. 197708022008011007

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

Pada laporan skripsi yang saya susun ini tidak terdapat tindakan plagiarisme, dan menyatakan dengan sukarela bahwa semua data, konsep, rancangan, bahan tulisan, dan materi yang ada di laporan tersebut adalah milik Laboratorium Marine Machinery and System (MMS) di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS yang merupakan hasil studi penelitian dan berhak dipergunakan untuk pelaksanaan kegiatan-kegiatan penelitian lanjut dan pengembangannya.

Nama : Muhammad Fajrul Rahman

NRP : 4212100141

Judul Skripsi: Analisa Penggunaan *Thermoelectric* sebagai Sumber Arus Listrik pada *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) di Pelat Lambung Kapal

Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan FTK - ITS

Apabila di kemudian hari terbukti terdapat tindakan plagiarisme, maka saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diberikan oleh ITS sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2016

(Muhammad Fajrul Rahman)

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

ANALISA PENGGUNAAN *THERMOELECTRIC* SEBAGAI SUMBER ARUS LISTRIK PADA *IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION* (ICCP) DI PELAT LAMBUNG KAPAL

Nama Mahasiswa : Muhammad Fajrul Rahman
NRP : 4212100141
Dosen Pembimbing 1 : Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng, Ph.D
Dosen Pembimbing 2 : Adi Kurniawan, S.T., M.T.

ABSTRAK

Korosi merupakan salah satu permasalahan yang sering dijumpai di dunia kemaritiman, dikarenakan faktor lingkungan yang paling korosif. Kapal merupakan salah satu transportasi laut yang sering mengalami korosi dikarenakan material pembuatan kapal biasanya berasal dari logam paduan. *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) atau proteksi katodik arus paksa adalah metode perlindungan logam dari korosi dengan cara dialiri arus listrik searah pada bagian anoda (+) dan katoda pada bagian pelat kapal (-). Selain permasalahan korosi, kapal juga merupakan salah satu media transportasi yang paling besar menghasilkan energi sisa dari pembakaran mesin dalam. Salah satu energi sisa terbesar yang dihasilkan adalah energi panas. *Thermoelectric* adalah salah satu alat yang dapat memanfaatkan energi panas tersebut dengan mengubahnya menjadi energi listrik. Untuk menghasilkan sumber arus listrik maka pada salah satu sisi panas dari *Thermoelectric* didekatkan pada bagian gas buang kapal. Penelitian ini ditujukan untuk dapat mengetahui efisiensi dan kinerja dari *Thermoelectric* sebagai sumber arus listrik dengan memanfaatkan media panas dari gas buang pada mesin kapal sebagai sumber arus listrik pada *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP). Untuk dapat melakukan penelitian ini diperlukan beberapa peralatan yaitu pembuatan *Prototype Thermoelectric* dengan cara menggabungkan *Thermoelectric* dengan *Heat Sink* dan udara

panas yang didapatkan dari keluaran *Heat Gun*. Pada percobaan penelitian *Prototype Thermoelectric* ini dilakukan 2 variasi percobaan, yaitu percobaan dengan sirkulasi natural (*Natural Circulation*) dan sirkulasi paksa (*Force Circulation*). Dari hasil percobaan sirkulasi paksa (*Force Circulation*) diperoleh hasil kinerja *Thermoelectric* termasuk paling efektif dan konstan dalam menghasilkan tegangan dan arus. Pada percobaan ini didapatkan rata-rata arus 0,48 A dan tegangan 4,76 V dalam waktu 10 menit dengan keluaran debit *Heat Gun* 420 l/min pada jarak 5 cm. Pada akhir penelitian ini dilakukan perhitungan kebutuhan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) pada *Live Fish Carrier "Wellboat" Irish Flag* dengan kebutuhan arus yang dihasilkan 2,66 A dan tegangan 17,29 V pada desain umur coating 3 tahun dan anoda 3 tahun. Jumlah *Prototype Thermoelectric* yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah 10 unit *Prototype Thermoelectric* dengan susunan rangkaian 6 seri dan 4 paralel sehingga dihasilkan arus sebesar 2,88 A dan tegangan 23,80 V.

Kata Kunci: Korosi, Energi Panas, *Thermoelectric*, *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP), Sirkulasi Natural, Sirkulasi Paksa

ANALYSIS OF THERMOELECTRIC PERFORMANCE FOR IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION (ICCP) IN SHIP APPLICATION

Student Name : Muhammad Fajrul Rahman
Reg. Number : 4211100141
Advisor 1 : Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng, Ph.D
Advisor 2 : Adi Kurniawan, S.T., M.T.

ABSTRACT

Corrosion is the one of problem which often encountered in the maritime industries, because most corrosive environmental factors. Ships is the one of common maritime transport which easily get corrosion due to common material of ship made from metal alloy. Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) is a method for protecting metal from corrosion by flowing direct current of electric in anode for positive current (+) and plate of ship for negative current (-). Beside of the corrosion problem, there is also one of the biggest problem from the combustion engine of the ship is unused energy. One of the largest unused energy is heat energy. Thermoelectric is one tool that can utilize the heat energy by converting it into electrical energy. To generate an electric source, then on the heat side of thermoelectric must close from the exhaust gas of ship to get high different temperature between the heat side and cold side of the Thermoelectric. This study aimed to ascertain the efficiency and performance of thermoelectric as a source of electricity by using heat from the exhaust gas of auxiliary engine for Impressed Current Cathodic Protection (ICCP). To be able to do this research need some of the equipments, first are making Prototype Thermoelectric by combining Thermoelectric with Heat Sink and Thermal Paste, second Heat Gun as a replica of the Exhaust Gas

which can blow a hot air. In this Prototype Thermoelectric research experiment conducted two variations of the experiment, Natural Circulation and Force Circulation. From the experimental results forced circulation was obtained the highest thermoelectric performance including the most effective and constant in producing voltage and current. In this experiment obtained an average current 0.48 A and voltage 4.76 V and in 10 minutes with Heat Gun discharge output of 420 l/min at a distance of 5 cm from the Thermoelectric. At the end of this research is calculating the amount of electricity for Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) on Live Fish Carrier "Wellboat" Irish Flag which resulting the amount of current 2.66 A and voltage 17.29 V at the design age of coating 3 year and anode 3 years. So, to meet these amount of electricity needs 10 units of Prototype Thermoelectric with circuit arrangement 6 serial and 4 parallel which resulting the amount of current 2.88 A and voltage 23.80 V.

Keywords: Corrosion, Heat Energy, Thermoelectric, Impressed Current Cathodic Protection (ICCP), Natural Circulation, Force Circulation

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Alhamdulillah saya ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan baik penyusunan skripsi yang berjudul **“Analisa Penggunaan *Thermoelectric* sebagai Sumber Arus Listrik pada *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) di Pelat Lambung Kapal ”**.

Dalam penyusunan skripsi ini, saya banyak mendapatkan bantuan baik secara moril maupun materiil, bimbingan, petunjuk, dan saran serta dorongan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih dan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada :

1. Ibu dan Ayah tercinta, Garna Rumia Pudjawati dan Samsul Hadi, yang senantiasa memberikan dukungan dalam hal materi, motivasi, dan spiritual. Terima kasih atas segala doa yang tak pernah putus. Kakak dan Adik saya, Muhammad Iqbal Tawakal dan Nadia Iradiani, beserta segenap keluarga yang turut mendoakan demi terselesainya skripsi ini.
2. Bapak Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng, Ph.D selaku dosen pembimbing skripsi I. Terima kasih atas bimbingan, ilmu, saran, motivasi dan dukungan material sehingga saya mampu menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik.
3. Bapak Adi Kurniawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing skripsi II. Terima kasih atas bimbingan, ilmu, saran, dan dukungan motivasi sehingga saya mampu menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik.
4. Ir. Hari Prastowo, M.Sc. selaku dosen wali saya. Terima kasih atas bimbingan, ilmu, saran, dan dukungan motivasi selama saya kuliah di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ini.
5. Ir. Soemartojo WA. selaku dosen pembimbing Desain IV saya. Terima kasih atas bimbingan, ilmu, motivasi, dan dukungan material sehingga saya mampu menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik.

6. Bapak Dr. Ir. A.A. Masroeri dan Muh. Badrus Zaman, S.T., M.T selaku ketua jurusan lama dan baru. Terima kasih atas bimbingan dan suntikan motivasi selama saya kuliah di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ini.
7. Bapak dan Ibu Kos yang telah memberikan ilmu dan membantu dalam pembuatan alat sebagai bahan percobaan dalam penyusunan skripsi.
8. Seseorang yang selalu menemani baik dalam senang maupun duka, Drh. Larasati Wedyana Putri. Terima kasih atas bimbingan, saran, dukungan material dan suntikan motivasinya hingga skripsi ini berhasil diselesaikan.
9. Tim *ICCP* (Faisal Adam), Tim *Thermoelectric* (Teguh Julianto), Tim Heat Transfer dan Thermal Fluid (Abdul Ghofur Insani, Faisal Adam, Faris Rahmadian, dan Muhammad Abdul Rokim). Terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya sebagai rekan kerja selama proses *Circle Study*, percobaan alat, dan penyusunan skripsi.
10. Rekan seperjuangan sekaligus keluarga besar yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, untuk yang tercinta Laboratorium MMS'12 dan BISMARCK '12. Terima kasih atas kebersamaan dan suntikan motivasi selama ini hingga skripsi ini terselesaikan dengan baik.
11. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, yang telah memberikan ide, saran, dan motivasi sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.

Saya berusaha semaksimal mungkin dalam pengerjaan dan penyusunan skripsi ini, namun sesempurnanya manusia yang mengerjakan pasti tidak akan sesempurna dengan ciptaan Allah SWT. Oleh karena itu, saya berharap adanya kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini.

Sebelum saya akhiri, saya berpesan kepada kita semua : *Don't be afraid if you fail while you do it seriously, but you might be afraid if you success from cheating* (Jangan takut jika anda

gagal saat anda melakukannya dengan serius, tetapi anda mungkin takut jika anda sukses dari kecurangan).

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membacanya. Terima kasih.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Lembar Pernyataan	vii
Abstrak.....	ix
Kata Pengantar.....	xiii
Daftar Isi	xvii
Daftar Gambar	xxi
Daftar Tabel.....	xxv
Daftar Grafik.....	xxvii

BAB I PENDAHULUAN

1

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penulisan Tugas Akhir	4
1.5 Manfaat Tugas Akhir	4
1.6 Tempat Penelitian.....	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....

7

2.1 Korosi (<i>Corrosion</i>)	7
2.2 Proteksi Katodik (<i>Cathodic Protection</i>).....	9
2.2.1 Metode Anoda Tumbal (SACP).....	10
2.2.2 Metode Arus Paksa (ICCP).....	11
2.3 Termoelektrik (<i>Thermoelectric</i>)	15
2.3.1 Komponen <i>Thermoelectric</i>	19
2.3.2 Proses Perpindahan Kalor <i>Thermoelectric</i>	21
2.3.3 Daya <i>Thermoelectric</i>	22
2.4 Gas Buang (<i>Exhaust Gas</i>)	24

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Metode Penelitian yang Digunakan	25
3.2 Bahan dan Peralatan yang Digunakan.....	30
3.3 Pembuatan Alat dan Bahan Percobaan.....	36
3.3.1 Pembuatan <i>Prototype Thermoelectric</i>	36
3.3.2 Pembuatan <i>Impressed Current Cathodic Protection</i>	38
3.4 Prosedur Percobaan.....	40
3.4.1 Percobaan <i>Prototype Thermoelectric</i> Sirkulasi Natural.....	40
3.4.2 Percobaan <i>Prototype Thermoelectric</i> Sirkulasi Paksa	44
3.4.3 Percobaan <i>Impressed Current Cathodic Protection</i>	49
3.5 Pengambilan Data Percobaan.....	51
3.5.1 Sisi Panas dan Sisi Dingin <i>Prototype Thermoelectric</i>	51
3.5.2 Arus dan Tegangan <i>Prototype Thermoelectric</i>	52
3.5.3 Daya <i>Prototype Thermoelectric</i>	53
3.5.4 Temperature Sirip <i>Prototype Thermoelectric</i>	54
 BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	 55
4.1 Percobaan <i>Prototype Thermoelectric Natural Circulation</i>	55
4.2 Percobaan <i>Prototype Thermoelectric Force Circulation</i>	59
4.3 Perhitungan <i>Prototype Thermoelectric</i>	63
4.3.1. <i>Figure of Merit</i>	69
4.3.2. <i>Seebeck Coefficient</i>	70
4.3.3. <i>Thermal Resistance</i>	71

4.3.4. <i>Electrical Resistance</i>	72
4.3.5. <i>Efficiency Thermoelectric</i>	72
4.3.6. <i>Heat Transfer</i>	73
4.3.7. <i>Heat Power</i>	76
4.4 Percobaan <i>Impressed Current Cathodic Protection</i> (ICCP)	77
4.5 Pembahasan Grafik Percobaan.....	81
4.5.1 Grafik percobaan <i>Prototype Thermoelectric</i>	81
4.5.2 Grafik percobaan <i>Impressed Current Cathodic</i> <i>Protection (ICCP)</i>	102
4.6 Aplikasi <i>Thermoelectric</i> di Dunia Maritim	104
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	119
5.1 Kesimpulan.....	119
5.2 Saran.....	120
DAFTAR PUSTAKA	121
LAMPIRAN	125

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

BAB II

Gambar 2.1	Korosi yang terjadi pada pelat kapal	7
Gambar 2.2	Laut merupakan lingkungan yang paling korosif	9
Gambar 2.3	Proses proteksi katodik metode anoda tumbal (SACP)	10
Gambar 2.4	Metode anoda tumbal (SACP) berbahan <i>Magnesium</i>	11
Gambar 2.5	Skema rangkaian aliran arus sistem ICCP pada lambung kapal	13
Gambar 2.6	Komponen-komponen dari sistem ICCP	14
Gambar 2.7	Efek Seebeck	15
Gambar 2.8	<i>Thermoelectric Cooling</i> (TEC)	16
Gambar 2.9	<i>Thermoelectric Generator</i> (TEG)	17
Gambar 2.10	Komponen <i>Thermoelectric</i>	19
Gambar 2.11	Distribusi ZT pada tiap-tiap material <i>Thermoelectric</i>	23
Gambar 2.12	Gas buang pada kapal	24

BAB III

Gambar 3.1	<i>Prototype Thermoelectric</i>	26
Gambar 3.2	Penerapan <i>Prototype Thermoelectric</i> pada ICCP	27
Gambar 3.3	Susunan rangkaian 4 <i>Thermoelectric</i>	36
Gambar 3.4	Langkah pertama dalam Pembuatan <i>Prototype Thermoelectric</i>	37
Gambar 3.5	Langkah kedua dalam Pembuatan <i>Prototype Thermoelectric</i>	38
Gambar 3.6	Langkah pertama dalam pembuatan ICCP	39

Gambar 3.7	Langkah kedua dalam pembuatan ICCP	39
Gambar 3.8	Rangkaian percobaan pada <i>Prototype Thermoelectric</i> pada Sirkulasi Natural.....	41
Gambar 3.9	Rangkaian percobaan pada <i>Prototype Thermoelectric</i> pada Sirkulasi Paksa	48
Gambar 3.10	Rangkaian percobaan <i>Impressed Current Cathodic Protection</i> (ICCP)	50
Gambar 3.11	Pengukuran temperatur dengan <i>Infrared Thermometer</i>	51
Gambar 3.12	Pengukuran sisi panas <i>Prototype Thermoelectric</i>	52
Gambar 3.13	Pengukuran sisi dingin <i>Prototype Thermoelectric</i>	52
Gambar 3.14	Pengukuran arus dan tegangan dengan <i>Multimeter Digital</i>	53
Gambar 3.15	Pengukuran Temperatur Sirip – sirip pada <i>Prototype Thermoelectric</i>	54

BAB IV

Gambar 4.1	Percobaan <i>Natural Circulation</i>	55
Gambar 4.2	Percobaan <i>Force Circulation</i>	59
Gambar 4.3	Susunan Rangkaian <i>Prototype Thermoelectric</i> .	63
Gambar 4.4	Percobaan <i>Impressed Current Cathodic Protection</i> (ICCP)	77
Gambar 4.5	Percobaan ICCP pada gergaji besi tipis dengan Anoda.....	79
Gambar 4.6	Hasil percobaan gergaji besi tipis dengan ICCP.....	80
Gambar 4.7	Hasil percobaan gergaji besi tipis tanpa ICCP.....	80

Gambar 4.8	Penerapan <i>Prototype Thermoelectric</i> pada gas buang mesin bantu.....	104
Gambar 4.9	Asmarines <i>Alumunium Anodes</i>	107
Gambar 4.10	Rangkaian 10 unit <i>Prototype Thermoelectric</i> pada kapal <i>Live Fish Carrirer “Wellboat” Irish Flag</i>	113
Gambar 4.11	General <i>Live Fish Carrirer “Wellboat” Irish Flag</i>	114
Gambar 4.12	Penempatan <i>Prototype Thermoelectric</i> pada gas buang mesin bantu Wartsila Auxpac.....	115
Gambar 4.13	Tabel Paroc <i>Stone Wool Pipe Insulation</i>	116

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

BAB II

Tabel 2.1	Laju pengausan sistem proteksi katodik ICCP	11
Tabel 2.2	Tabel nilai koefisien seebeck	17
Tabel 2.3	Macam-macam karakteristik Material <i>Thermoelectric Generator (TEG)</i>	19

BAB III

Tabel 3.1	Alat dan Bahan Percobaan	30
Tabel 3.2	Percobaan <i>Prototype Thermoelectric Natural Circulation</i>	42
Tabel 3.3	Percobaan <i>Prototype Thermoelectric Force Circulation</i>	46
Tabel 3.4	Percobaan <i>Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)</i>	50

BAB IV

Tabel 4.1	Hasil Data Percobaan <i>Prototype Thermoelectric Natural Circulation</i>	56
Tabel 4.2	Hasil Data Percobaan <i>Prototype Thermoelectric Force Circulation</i>	60
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan <i>Percobaan Prototype Thermoelectric Natural Circulation</i>	64
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan <i>Percobaan Prototype Thermoelectric Force Circulation</i>	66
Tabel 4.5	Perhitungan <i>Prototype Thermoelectric</i>	69
Tabel 4.6	Hasil data percobaan <i>Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)</i>	78

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	Daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan <i>Natural Circulation</i> 5 cm Mode 1.....	82
Grafik 4.2	Daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan <i>Natural Circulation</i> 5 cm Mode 2.....	82
Grafik 4.3	Daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan <i>Force Circulation</i> 5 cm Mode 1	83
Grafik 4.4	Daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan <i>Force Circulation</i> 5 cm Mode 2	83
Grafik 4.5	Daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan <i>Natural Circulation Heat Gun</i> - Mode 1	84
Grafik 4.6	Daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan <i>Natural Circulation Heat Gun</i> - Mode 2	85
Grafik 4.7	Daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan <i>Force Circulation Heat Gun</i> - Mode 1	85
Grafik 4.8	Daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan <i>Force Circulation Heat Gun</i> - Mode 2 .	86
Grafik 4.9	Daya terhadap Jarak <i>Heat Gun</i> pada percobaan <i>Natural Circulation – Heat Gun</i> Mode 1	87
Grafik 4.10	Daya terhadap Jarak <i>Heat Gun</i> pada percobaan <i>Natural Circulation – Heat Gun</i> Mode 2	87
Grafik 4.11	Daya terhadap Jarak <i>Heat Gun</i> pada percobaan <i>Force Circulation – Heat Gun</i> Mode 1	88
Grafik 4.12	Daya terhadap Jarak <i>Heat Gun</i> pada percobaan <i>Force Circulation – Heat Gun</i> Mode 2	88
Grafik 4.13	Koefisien Seebeck terhadap Sisi Panas pada percobaan <i>Natural Circulation</i> 5 cm Mode 2.....	89

Grafik 4.14	Koefisien Seebeck terhadap Sisi Panas pada percobaan <i>Force Circulation</i> 5 cm Mode 2	90
Grafik 4.15	Tahanan terhadap Jarak <i>Heat Gun</i> pada percobaan <i>Natural Circulation – Heat Gun</i> Mode 1	91
Grafik 4.16	Tahanan terhadap Jarak <i>Heat Gun</i> pada percobaan <i>Force Circulation – Heat Gun</i> Mode 1	92
Grafik 4.17	Tahanan Listrik terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan <i>Natural Circulation</i> 5 cm Mode 2.....	93
Grafik 4.18	Tahanan Listrik terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan <i>Force Circulation</i> 5 cm Mode 2...	94
Grafik 4.19	<i>Figure of Merit</i> terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan <i>Natural Circulation</i> 5 cm Mode 2.....	95
Grafik 4.20	<i>Figure of Merit</i> terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan <i>Force Circulation</i> 5 cm Mode 2.....	96
Grafik 4.21	<i>Efisiensi Thermoelctric</i> terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan <i>Natural Circulation</i> 5 cm Mode 1.....	97
Grafik 4.22	<i>Efisiensi Thermoelctric</i> terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan <i>Force Circulation</i> 5 cm Mode 1.....	98
Grafik 4.23	<i>Heat Transfer</i> terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan <i>Natural Circulation</i> 5 cm Mode 1.....	99
Grafik 4.24	Perbandingan daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan <i>Natural Circulation</i> 5 cm Mode 1.....	101

Grafik 4.25	Perbandingan daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan <i>Force Circulation</i> 5 cm Mode 1.....	101
Grafik 4.26	Tegangan Beban terhadap Waktu pada percobaan ICCP 1.....	102

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Suatu konstruksi yang terbuat dari logam semuanya pasti akan mengalami proses korosi, dimana bahan baku utama dalam pembuatan kapal biasanya terbuat dari pelat logam baja paduan. Korosi merupakan proses alami yang terjadi dari penurunan kualitas logam akibat berinteraksi dengan lingkungannya dan sulit untuk dapat dihindari sepenuhnya. Korosi dapat terjadi pada semua logam dimana saja baik di darat maupun di laut. Tingkat korosi logam pada air laut jauh lebih tinggi dibandingkan dengan yang di darat hal ini disebabkan oleh keberadaan elektrolit pada air laut, seperti garam dapat mempercepat lajunya korosi. Konsentrasi elektrolit yang besar dapat meningkatkan laju aliran elektron sehingga laju korosi meningkat. Oleh karena itu banyak sekali kerugian yang timbul pada pelat kapal baik dari segi teknis maupun ekonomis, sehingga perlu adanya perawatan dan perbaikan pada pelat kapal yang dilakukan secara rutin melalui survey tahunan untuk menghindari dari kerugian yang dapat ditimbulkan akibat dari korosi. Pencegahan dan penanggulangan korosi pada pelat kapal dapat dicegah dengan metode pemberian Pelapisan (*Coating*) serta dengan menambahkan Proteksi Katodik (*Cathodic Protection*).

Proteksi Katodik (*Cathodic Protection*) terdiri dari dua metode yang berbeda, yaitu metode anoda tumbal (*Sacrificial Anode Cathodic Protection*) dan metode arus paksa (*Impressed Current Cathodic Protection*). Metode anoda tumbal (SACP) adalah metode perlindungan dengan cara memproteksi logam yang akan diproteksi dengan menambahkan logam yang lebih anodik dengan kata lain logam yang lebih anodik sebagai tumbal biasanya menggunakan logam *Zinc* dan *Magnesium*, sedangkan

Metode arus paksa (ICCP) adalah metode perlindungan logam dengan cara dialiri arus listrik searah (Arus DC) pada bagian anoda (+) dan pada bagian pelat kapal (-). Sumber arus listrik yang digunakan untuk memberikan elektron ke pelat kapal berasal dari *Rectifier*, namun pada penelitian tugas akhir ini akan digunakan sumber arus listrik DC dari *Thermoelectric*. Kutub positif sumber arus DC dihubungkan dengan anode sedangkan kutub negatif sumber arus DC dihubungkan dengan material pelat kapal, sehingga elektron akan bergerak dari anode ke arah material pelat kapal yang merupakan langkah proteksi terhadap pengaruh korosi.

Thermoelectric adalah suatu alat yang dapat menghasilkan arus listrik searah (Arus DC) yang dihasilkan melalui perbedaan temperature pada kedua sisi bagiannya, fenomena ini disebut fenomena efek Seebeck. Pada tahun 1821 seorang fisikawan dari Jerman bernama Thomas Johann Seebeck menemukan fenomena *Thermoelectric*. Thomas Johann Seebeck mengamati bahwa jika ada dua bahan berbeda yang disambungkan di ujung-ujungnya, kemudian salah satu ujungnya dipanaskan, maka akan ada arus listrik yang mengalir.

Pada penelitian tugas akhir ini akan diadakan studi tentang *Thermoelectric* sebagai sumber arus listrik searah dengan memanfaatkan gas buang pada mesin bantu kapal (*Auxiliary Engine*) dan digunakan sebagai proteksi katodik metode arus paksa (*Impressed Current Cathodic Protection*).

2. Perumusan Masalah

Permasalahan utama yang akan dibahas dalam penelitian Tugas Akhir ini sebagai berikut :

1. Bagaimana model *Prototype Thermoelectric* yang efisien dan optimal sehingga menghasilkan tegangan dan sumber arus yang dapat digunakan dalam penerapan metode arus paksa (ICCP) ?

2. Apakah dengan menggunakan *Thermoelectric* sebagai sumber arus listrik dapat mencukupi kebutuhan pada proteksi katodik metode arus paksa (ICCP) ?
3. Apakah kinerja *Thermoelectric* dapat optimal sebagai sumber arus listrik yang dihasilkan dengan memanfaatkan sumber panas dari gas buang mesin bantu (*Auxiliary Engine*) ?

3. Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini tidak meluas, maka diberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Awal dari penelitian ini dilakukan pembuatan suatu model *Prototype Thermoelectric* yang dapat menghasilkan tegangan dan sumber arus listrik yang efisien dan optimal sehingga dapat berfungsi dengan baik dalam penerapan metode arus paksa (ICCP).
2. Pada penelitian ini *Prototype Thermoelectric* memanfaatkan media panas dari *Heat Gun* (sebagai pengganti *Exhaust Gas*) dan dingin dari udara *Air Conditioner* (sebagai pengganti *Engine Room*) untuk menghasilkan sumber arus listrik.
3. Pada penelitian ini dilakukan percobaan *Prototype Thermoelectric* dengan memanfaatkan sirkulasi udara ruangan dengan *Air Conditioner (Natural Circulation)* dan sirkulasi paksa dengan menggunakan *Air Conditioner (Force Circulation)*.
4. Akhir dari penelitian ini dilakukan contoh uji coba *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) pada pelat tipis yang diberi tegangan dan arus listrik dari *Prototype Thermoelectric* dan pelat yang tidak tegangan maupun arus listrik.

4. Tujuan Penulisan Tugas Akhir

Untuk menjawab semua pertanyaan yang terdapat pada perumusan masalah di atas, maka penelitian pada Tugas Akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui sumber arus listrik yang optimal yang dihasilkan dari *Thermoelectric* dengan memanfaatkan perbedaan temperature pada kedua sisinya.
2. Mengetahui efisiensi dan kinerja sistem dari *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) dengan menggunakan *Thermoelectric* sebagai sumber arus listriknya.
3. Mengetahui perbandingan pelat tipis dengan menggunakan sumber arus listrik dari *Thermoelectric* sebagai *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) dan tanpa menggunakan sumber arus listrik.

5. Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian Tugas akhir ini adalah :

1. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat membantu dalam penerapan teknologi baru pada *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) di pelat kapal dengan menggunakan *Thermoelectric* sebagai sumber arus listriknya.
2. Mengetahui sumber arus listrik yang optimal yang dapat dihasilkan dari *Thermoelectric* dengan memanfaatkan perbedaan temperature antara Gas Baung Mesin Bantu (*Exhaust Gas Auxilary Engine*) dan Ruang Kamar Mesin (*Engine Room*) pada kapal.
3. Mengetahui kinerja dan performansi dari *Thermoelectric* sebagai sumber arus listrik pada *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP).

6. Tempat Penelitian

Workshop Laboratorium Mesin Fluida dan Sistem, Teknik Sistem Perkapalan, FTK – ITS.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi (*Corrosion*)

Korosi (*Corrosion*) adalah proses alami penurunan kualitas logam akibat berinteraksi dengan lingkungannya baik itu secara kimia atau elektrokimia pada waktu pemakaiannya. Proses ini terjadi bila ada reaksi setengah sel yang melepaskan elektron (reaksi oksidasi pada anodik) dan reaksi setengah sel yang menerima elektron tersebut (reaksi reduksi pada katodik). Kedua reaksi ini akan terus berlangsung sampai terjadi kesetimbangan dinamis dimana jumlah elektron yang dilepas sama dengan jumlah elektron yang diterima.



Gambar 2.1. Korosi yang terjadi pada pelat kapal
(Rahman, 2014)

Proses korosi merupakan proses alami, maka proses tersebut tidak bisa dihindari keberadaannya, tetapi dapat dikendalikan dengan perencanaan-perencanaan yang baik. Walaupun berlangsungnya proses korosi itu relatif lambat, tetapi terjadinya pada area permukaan yang sangat luas yaitu pada semua permukaan logam yang tidak cukup perlindungannya.

Trethewey dan Chamberlain (1991), ada empat faktor yang mempengaruhi dan berperan dalam reaksi elektrokimia diantaranya :

- a. Anoda, merupakan bagian yang terkorosi dan akan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral membentuk ion-ion.
- b. Katoda, bagian yang biasanya tidak mengalami korosi walaupun mungkin mengalami korosi akan menderita kerusakan-kerusakan.
- c. Larutan elektrolit, merupakan istilah yang diberikan pada larutan yang bersifat menghantarkan listrik. Larutan ini biasanya mempunyai harga konduktivitas tertentu.
- d. Hubungan listrik, dimana antara katoda dan anoda harus ada hubungan listrik agar arus di dalam sel korosi dapat mengalir. Hubungan secara fisik tidak diperlukan jika anoda dan katoda merupakan bagian dari logam yang sama.

Rahmasari dan Frederica (2014), Lingkungan yang paling korosif adalah air laut dengan kandungan :

1. Konduktivitas tinggi (tahanan jenis air laut tinggi $\pm 25 \Omega \cdot \text{cm}$)
2. Kandungan ion klorida (ion yang sangat agresif) tinggi, yaitu 19,535 g klorida/kg air laut
3. Kandungan oksigen terlarut signifikan dapat mencapai 12 ppm
4. Terdapat biofouling
5. Mungkin mengandung pengotor dan padatan tersuspensi



Gambar 2.2. Laut merupakan lingkungan yang paling korosif
(Rahman, 2015)

Ada beberapa prinsip cara pencegahan korosi yang disesuaikan dengan jenis peralatan, tempat, faktor lingkungan yang korosif dan material yang memegang peranan penting yaitu dengan beberapa metode yaitu :

- Pemilihan Bahan Material
- Pelapisan (*Coating*)
- Proteksi Katodik (*Cathodic Protection*)

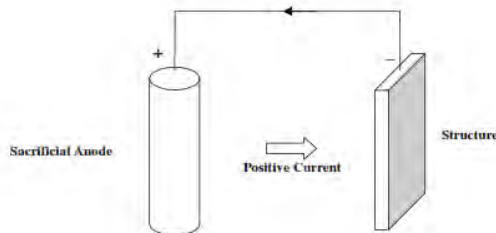
2.2 Proteksi Katodik (*Cathodic Protection*)

Proteksi katodik (*Cathodic Protection*) merupakan merupakan salah satu metode pencegahan korosi yang efektif untuk digunakan pada permukaan logam, baik permukaan logam yang sudah diberi pelapisan (*Coating*) ataupun tidak diberi pelapisan. Pada pelat kapal umumnya sebelum dipasang proteksi katodik (*Cathodic Protection*) terlebih dahulu dilakukan pelapisan (*Coating*). Sistem pada proteksi katodik berfungsi menghalangi terjadinya reaksi korosi yang mungkin muncul dengan cara mencegah terjadinya pertukaran elektron. Proteksi Katodik (*Cathodic Protection*) terdiri dari dua metode yang berbeda, yaitu metode anoda tumbal (*Sacrificial Anode Cathodic*

Protection) dan metode arus paksa (*Impressed Current Cathodic Protection*).

2.2.1 Metode Anoda Tumbal (SACP)

Sacrificial Anode Cathodic Protection (SACP) atau metode anoda tumbal adalah metode perlindungan dengan cara memproteksi logam yang akan diproteksi dengan menambahkan logam yang lebih anodik dengan kata lain logam yang lebih anodik sebagai tumbal, biasanya menggunakan logam *Zinc*, *Alumunium* dan *Magnesium*. Material ini banyak dipakai sebagai proteksi katodik di laut, dikarenakan material tersebut cukup negatif potensialnya untuk dijadikan anoda yang melindungi baja dari air laut.



Gambar 2.3. Proses proteksi katodik metode anoda tumbal (SACP)
(Cathodic Protection co Limited)

Mihmidaty (2006), komposisi prosedur metode anoda tumbal (SACP) yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut :

- Mempunyai negatif potensial yang cukup untuk memastikan proteksi katodik pada lingkungan khusus.

- Kemampuannya meneruskan korosi selama pemakaian dan bukannya membentuk lapisan pasif atau protektif pada permukaan.
- Efisiensi anoda tinggi.



Gambar 2.4. Metode anoda tumbal (SACP) berbahan *Magnesium*
(Rahman, 2014)

2.2.2 Metode Arus Paksa (ICCP)

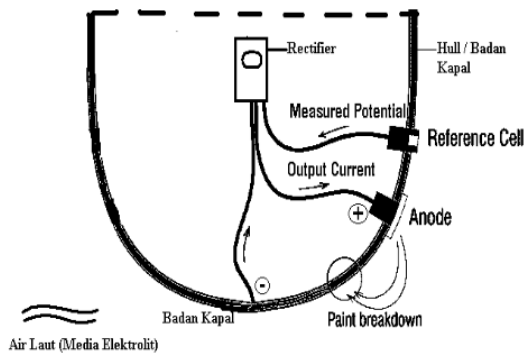
Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) atau metode arus paksa adalah metode perlindungan logam dengan cara dialiri arus listrik searah (Arus DC) pada bagian anoda (+) dan pada bagian pelat kapal (-). Anoda yang digunakan pada metode arus paksa (ICCP) yaitu terbuat dari material non aktif seperti *High Silicon Cast Iron*, *Grafit*, *Platinum*, *Aluminium* dan *Titanium* yang berfungsi sebagai sumber elektron dan tidak perlu dikorbankan (terserang korosi).

Anoda yang digunakan dalam metode arus paksa (ICCP) harus mempunyai nilai potensial elektroda yang tinggi agar dapat melindungi area yang luas dengan luasan anoda yang kecil. Berikut ini merupakan tabel jenis-jenis anoda yang biasa dipakai untuk penggunaan metode arus paksa (ICCP) berdasarkan laju pengausannya :

Tabel 2.1. Laju pengausan metode arus paksa (ICCP)
(Soepomo, 1995)

Material Anoda	Lingkungan	Typical loss (Lb/A.Y)
Scrap Steel	Tanah, Air tawar / laut	20
Alumunium	Tanah, Air tawar / laut	10 – 12
High Silicon Iron	Tanah, Air tawar / laut	0.25 – 0.50
Grafit	Tanah, Air tawar	0.25 – 0.50
Timah	Air laut	0.10 – 0.25
Platinum dan titanium	Air laut	-

Wiludin (2013) Skema aliran arus yang terjadi pada sistem ICCP diberikan dalam Gambar 5. Berdasarkan Gambar 5, aliran arus berawal dari *Power Supply Unit (Rectifier)* yang dialirkan ke anode kemudian melalui elektrolit air laut, arus akan mengalir menuju struktur lambung kapal dan melalui kabel *Grounding (Reference Cell)* kembali ke *Rectifier*. *Reference Cell* berfungsi untuk membaca potensial arus yang keluar dari anoda.



Gambar 2.5. Skema rangkaian aliran arus metode arus paksa (ICCP) pada lambung kapal (Wiludin, 2013)

Sistem metode arus paksa (ICCP) memiliki beberapa komponen dalam sistemnya, berbeda halnya dengan metode anoda tumbal (SACP) yang hanya memiliki satu komponen sebagai anoda tumbal. Berikut ini merupakan bagian-bagian komponen dari sistem metode arus paksa (ICCP) :

1. *Elliptical Anode*
Anoda berbentuk elips yang berfungsi sebagai anoda yang dialiri arus (+) dari *Power Supply Unit (Rectifier)*. Jenis-jenis anoda yang digunakan telah dijabarkan pada tabel 2.1.
2. *Reference Cell*
Reference Cell berfungsi untuk membaca potensial arus yang keluar dari anoda. Terbuat dari bahan *High Purity Zinc Alloy*.
3. *Power Supply Unit (P.S.U)*
Power Supply Unit/Rectifier merupakan sumber arus listrik searah (Arus DC) yang digunakan untuk mengalirkan listrik menuju

anoda. Suplai arus listrik diperoleh dari Generator pada kapal.

4. *Remote Monitoring Panel (R.M.P)*
Remote Monitoring Panel merupakan *Control Panel* yang digunakan sebagai pengontrol dalam mengatur arus yang dikeluarkan dari *Power Supply Unit*.
5. *Linear Stripe Anode*
Anoda yang berbentuk *Linear* (kotak), yang berfungsi sebagai anoda yang dialiri arus (+) dari *Power Supply Unit (Rectifier)*. Hanya saja *Linear Stripe Anode* lebih ringan dan mudah untuk dipasang ketimbang *Elliptical Anode*.
6. *Rudder Stock Bonding*
Rudder Stock Bonding merupakan anoda yang berfungsi untuk melindungi korosi pada *Rudder Shaft*. *Rudder Stock Bonding* memiliki pengendalian tersendiri tidak mengikuti dari *Remote Monitoring Panel*.



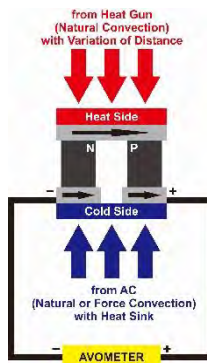
Gambar 2.6. Komponen-komponen dari sistem ICCP
(Cathelco co Limited)

Mahendra (2012), Perhitungan kebutuhan sistem *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) berdasarkan peraturan “DET NORSKE VERITAS RECOMMENDED PRACTICE (DNV-RP-B401) CATHODIC PROTECTION DESIGN OCTOBER 2010” adalah sebagai berikut :

1. Menentukan luas permukaan yang akan diproteksi.
2. Menentukan faktor breakdown coating.
3. Menentukan kebutuhan arus proteksi.
4. Menentukan massa total anoda yang dibutuhkan.
5. Menentukan jumlah anoda yang dibutuhkan.
6. Menentukan besar tahanan anoda.
7. Menentukan peletakan anoda.

2.3 Termoelektrik (*Thermoelectric*)

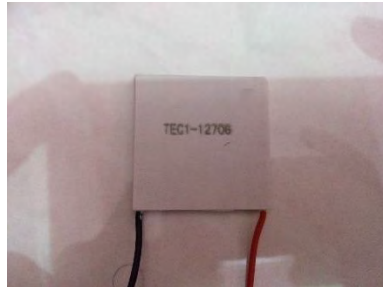
Termoelektrik (*Thermoelectric*) adalah suatu alat yang dapat menghasilkan arus listrik searah (*Direct Current*) yang dihasilkan melalui perbedaan suhu pada kedua sisi bagiannya, fenomena ini disebut efek seebeck.



Gambar 2.7. Efek Seebeck

Penemuan Seebeck ini memberikan inspirasi pada Jean Charles Peltier untuk melihat kebalikan dari fenomena tersebut. Ketika arus listrik dialirkan, terjadi penyerapan panas pada sambungan kedua logam tersebut dan pelepasan panas pada sambungan yang lainnya. Pelepasan dan penyerapan panas ini saling berbalik begitu arah arus dibalik, fenomena ini disebut efek peltier. Efek Seebeck dan Peltier inilah yang kemudian menjadi dasar pengembangan teknologi *Thermoelectric*.

Thermoelectric dibagi menjadi 2 berdasarkan prinsip kerjanya, *Thermoelectric Cooling* (TEC) dan *Thermoelectric Generator* (TEG). *Thermoelectric Cooling* (TEC) merupakan terapan dari efek peltier yang merubah arus searah DC menjadi penyerap panas atau pendingin, sedangkan *Thermoelectric Generator* (TEG) merupakan terapan dari efek seebeck yang merubah perbedaan temperatur pada kedua sisi menjadi sumber arus listrik.



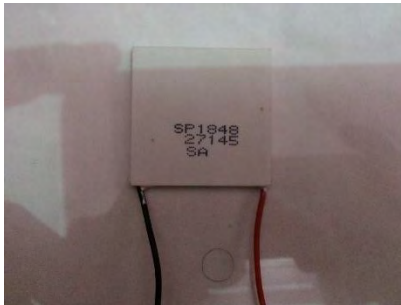
Gambar 2.8. *Thermoelectric Cooling* (TEC)

TEC memiliki simbol-simbol tertentu yang tertulis pada sisi dinginnya, seperti TEC-12706. Simbol TEC-12706 memiliki makna :

- TE merupakan simbol yang menyatakan *Thermoelectric*
- C merupakan simbol dari *Cooling*

- 127 merupakan jumlah pasang semikonduktor pada *Thermoelectric* (127 semikonduktor)
- 06 merupakan jumlah arus maksimum yang dapat dicapai (6 ampere)

Selain sebagai pendingin TEC juga dapat dimanfaatkan sebagai penghasil sumber listrik dengan menerapkan efek seebeck, hanya saja struktur material yang ada pada TEC kurang baik dibandingkan TEG apabila digunakan sebagai penghasil sumber arus listrik.



Gambar 2.9. *Thermoelectric Generator* (TEG)

Thermoelectric Generator (TEG) menghasilkan sumber arus listrik dengan memanfaatkan perbedaan temperatur pada kedua sisinya. Perbedaan temperatur yang dihasilkan pada kedua sisi (*Heat Side* dan *Cold Side*) sebanding dengan tegangan yang dihasilkan.

$$V \sim (T_h - T_c) \quad [2.1]$$

Nilai pada kedua sisi akan sama apabila dikalikan dengan konstanta koefisien seebeck (A)

$$V = A_{xy} \times (T_h - T_c) \quad [2.2]$$

dimana,

V = Tegangan keluaran (Volt)

A = Koefisien seebeck antara 2 material (Volt/K)

T_h = Temperatur sisi panas (K)

T_c = Temperatur sisi dingin (K)

Nilai dari koefisien seebeck (A) dapat ditentukan dari material yang digunakan pada Thermoelectric. Berikut merupakan nilai koefisien seebeck pada beberapa material :

Tabel 2.2. Tabel nilai koefisien seebeck

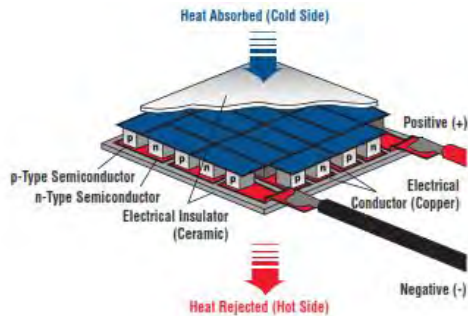
Material	Seebeck Coeff ($\mu V/^{\circ}C$)	Material	Seebeck Coeff ($\mu V/^{\circ}C$)	Material	Seebeck Coeff ($\mu V/^{\circ}C$)
Alumunium	3.5	Gold	6.5	Rhodium	6
Antimony	47	Iron	19	Selenium	900
Bismuth	-72	Lead	4	Silicon	440
Cadmium	7.5	Mercury	0.6	Silver	6.5
Carbon	3	Nichrome	25	Sodium	-2
Contantan	-35	Nickel	-15	Tantalum	4.5
Copper	6.5	Platinum	0	Tellurium	500
Germanium	300	Potasium	-9	Tungsten	7.5

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja dari *Thermoelectric*, diantaranya :

1. Temperatur pada sisi panas dan dingin
2. Jenis material *Thermoelectric* yang digunakan
3. Laju perpindahan panas yang terjadi pada *Thermoelectric*
4. Konduktivitas thermal dari material *Thermoelectric*
5. Tahanan kontak antara *Thermoelectric* dengan sumber panas

2.3.1. Komponen *Thermoelectric*

Thermoelectric memiliki beberapa material penyusun utama berupa *Electrical Insulator (Ceramic)* pada kedua sisinya, konduktor serta semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang terhubung secara seri.



Gambar 2.10. Komponen *Thermoelectric*
(Melcor Thermoelectric Handbook)

Semikonduktor tipe-n dan tipe-p
























Mulyowidodo (1996) Semikonduktor tipe-n terdiri dari material yang memiliki lima elektron pada kulit terluarnya (Golongan V pada tabel periodik), dan disebut sebagai atom donor dikarenakan adanya penambahan elektron bebas pada kristal oleh atom-atom pentavalensi. Semikonduktor tipe-p terdiri dari material yang memiliki tiga elektron pada kulit terluarnya (Golongan III pada tabel periodik), dan disebut sebagai atom aseptor karena adanya kekurangan elektron pada unsur-unsur atom tersebut.

Kedua elemen tersebut dimasukkan ke dalam kristal germanium murni atau silikon murni dengan perbandingan 1:10 lewat proses *doping* untuk membentuk semikonduktor tipe-n untuk golongan V

dan tipe-p untuk golongan III. Contoh bahan semikonduktor untuk *Thermoelectric* :

- tipe-n : Bismuth Telluride Selenium (BiTeSe)
- tipe-p : Bismuth Telluride Antimony (BiTeSb)

Tabel 2.3. Macam-macam karakteristik Material *Thermoelectric Generator* (TEG)
(Komatsu Technical Report)

Material	Composition	Conduction type	Optimum temperature (°C)	Production process	ZT	Mechanical properties	Thermal stability	Environmental impact
Silicides	Mn-Si	p	300 – 600	Melting & refining	0.80	Young's modulus: 12,000MPa Poisson's ratio: 0.34		
	Mg-Si	n	380 – 600	Melting & refining	1.07	–	Unstable without coating.	
Si-Ge-based	Si _{0.8} Ge _{0.2}	n	730	Hot press	1.00	Compressive strength: 653 MPa	Stable for over 10 years.	
	Si _{0.8} Ge _{0.2}	p	730	Hot press	0.70	Compressive strength: 473 MPa		
Oxide-based	NaCo ₂ O ₄	p	30 – 500	Flux	1.20	–		
	(Ca,Sr,Bi) ₂ Co ₂ O ₅	p	330 – 730	Glass annealing	–	–		
	(ZnO) _{0.8} (Im _{0.97} Y _{0.03}) ₂ O ₃	n	430 – 800	RTGG	0.31	–		
	Zn _{0.98} Al _{0.02} O	n	430 – 700	Solid phase reaction	0.42	–		
PbTe-based	PbTe	n	230 – 577	Hot press	0.70	–	Subject to heat history.	
TAGS-based	GeTe-AgSbTe ₂	p	430	–	1.40	–		
LaTe	LaTe-1.4	n	~730	–	1.17 – 1.43	–		
filled-Skutterudites	YbCo _{9.9} (PtPd) _{0.1} Sb ₃	n	330 – 630	Plasma sintering	1.12	–	–	
	Ce _{0.12} Fe _{0.7} Co _{1.28} Sb ₁₂	p	330 – 630	Plasma sintering	0.93	–	–	
Bi-Sb-Te-Se	Bi-Sb-Te-Se	n, p	~180 – 250	Hot press	0.3 – 1.01	–	Sufficient data available.	
Zn ₄ Sb ₇ -based	Zn ₄ (Sb _{0.97} Sn _{0.03}) ₃	p	230 – 480	Plasma sintering	1.00	–	Somewhat unstable.	
	Zn ₄ Sb ₃	p	230 – 480	Plasma sintering	1.22	–		

Konduktor

Konduktor pada *Thermoelectric* merupakan penghantar elektron yang terhubung pada semikonduktor tipe-n dan tipe-p. Material dari konduktor *Thermoelectric* adalah tembaga.

Electrical Insulator (*Substrate*)

Electrical Insulator (*Substrate*) merupakan jenis penghantar panas yang baik namun bukan penghantar listrik yang baik. Contoh Al₂SO₃ (Aluminium Oxide).

2.3.2. Proses perpindahan kalor *Thermoelectric*

Proses perpindahan kalor pada *Thermoelectric* terbagi menjadi dua, yaitu konveksi dan konduksi. Konveksi terjadi pada bagian sisi-sisi luar dari *Thermoelectric*, sedangkan konduksi terjadi pada bagian dalam dari *Thermoelectric*.

Konduksi adalah proses perpindahan kalor yang melalui zat penghantar tanpa disertai perpindahan bagian-bagian zat itu sendiri. Sedangkan konveksi adalah proses perpindahan kalor melalui zat penghantar yang disertai dengan perpindahan bagian-bagian zat itu sendiri.

Berikut merupakan rumus yang digunakan dalam perhitungan konveksi dan konduksi :

Proses Konveksi

$$q_{\text{conv}} = hA (T_2 - T_1) \quad [2.3]$$

dimana:

q_{conv} : Laju perpindahan panas secara konveksi [W]

h : Konveksi thermal [W/m °C]

A : Luas permukaan [m²]

ΔT : Perubahan suhu [°C]

Proses Konduksi

$$q_{\text{cond}} = kA (T_2 - T_1) \quad [2.4]$$

dimana:

q_{cond} : Laju perpindahan panas secara konduksi [W]

k : Konduktivitas thermal [W/m °C]

A : Luas permukaan [m²]

ΔT : Perubahan suhu [°C]

2.3.3. Daya *Thermoelectric*

Thermoelectric menghasilkan sumber arus listrik apabila kedua sisinya memiliki perbedaan temperatur. Snyder (2008) *Thermoelectric* mengubah panas menjadi tenaga listrik dengan efisiensi tertentu, seperti pada persamaan di bawah ini :

$$P = \eta \times Q \quad [2.5]$$

dimana,

P : Daya [W]

η : Efisiensi *Thermoelectric*

Q : Laju perpindahan panas [W]

Efisiensi *Thermoelectric* tergantung pada perbedaan temperatur $\Delta T = T_h - T_c$. Berikut merupakan persamaan dari efisiensi *Thermoelectric* :

$$\eta = \frac{\Delta T}{T_h} \cdot \frac{\sqrt{1+ZT}-1}{\sqrt{1+ZT}+\frac{T_c}{T_h}} \quad [2.6]$$

dimana,

η : Efisiensi *Thermoelectric*

ΔT : Perbedaan Temperatur kedua sisi [°C]

T_c : Sisi dingin *Thermoelectric* (*Cold Side*) [°C]

T_h : Sisi panas *Thermoelectric* (*Hot Side*) [°C]

ZT : *Figure of Merit*

Figure of Merit (ZT) merupakan persamaan yang terdapat pada material *Thermoelectric*, semakin besar nilai ZT maka akan semakin besar pula daya yang dihasilkan dari *Thermoelectric*. Berikut merupakan rumus dari persamaan ZT :

$$zT = \frac{\alpha^2 T}{\rho \kappa} \quad [2.7]$$

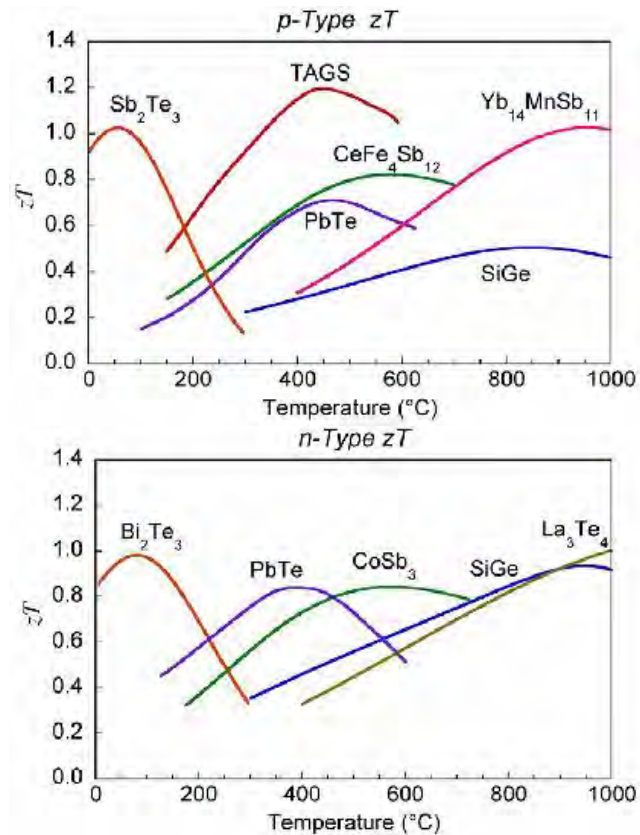
dimana,

α = Seebeck Coefficient

ρ = Electrical Resistivity

κ = Conductivity Thermal

T = Temperature



Gambar 2.11. Distribusi ZT pada tiap-tiap material
Thermoelectric
(Thermoelectric power generation-materials)

2.4 Gas Buang (*Exhaust Gas*)

Gas buang (*Exhaust Gas*) merupakan sisa energi dari hasil pembakaran dalam pada mesin diesel/otto yang tidak digunakan lagi. Banyak peneliti berlomba-lomba dalam memanfaatkan energi panas tersebut dengan menggunakan suatu alat seperti *Thermoelectric*.



Gambar 2.12. Gas buang pada kapal
(Rahman, 2014)

Pandiyarajan (2011), gas buang pada mesin pembakaran dalam memiliki energi yang cukup besar, yaitu sekitar 30 % dari kalor hasil pembakaran dengan suhu berkisar 600 – 700 °C. Salah satu energi sisa terbesar yang dihasilkan adalah energi panas. Kapal merupakan media transportasi yang paling besar dalam menghasilkan gas buang, terutama kapal yang berbahan bakar dasar *Marine Diesel Oil* (MDO)/*Heavy Fuel Oil* (HFO).

Thermoelectric merupakan salah satu alat yang dapat mengubah energi panas menjadi sumber arus listrik. Untuk menghasilkan sumber arus listrik maka pada salah satu sisi panas dari *Thermoelectric* cukup didekatkan atau ditempel pada bagian gas buang kapal. Dengan adanya *Thermoelectric* pada gas buang kapal diharapkan sumber arus listrik yang keluar dapat dimanfaatkan sebagai *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) seperti pada penelitian tugas akhir ini.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian yang Digunakan

Metode penelitian yang dipakai dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah dengan membuat *Prototype Thermoelectric*, dan dilakukan 2 variasi percobaan yaitu percobaan sirkulasi natural (*Natural Circulation*) dan percobaan sirkulasi paksa (*Force Circulation*) dengan fluida udara sebagai media pemanasnya. Hasil akhir yang diharapkan adalah adanya kestabilan perbedaan temperature diantara kedua sisinya sehingga menghasilkan tegangan dan arus listrik yang sesuai dengan kebutuhan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP).

Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini yang dilakukan adalah identifikasi permasalahan yang ada khususnya terkait *Thermoelectric* dan sistem proteksi katodik *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP). Pada penelitian ini permasalahan yang diangkat adalah mengetahui aliran sumber arus listrik dari *Thermoelectric* yang optimal sehingga dapat berfungsi dengan baik pada sistem proteksi katodik ICCP.

2. Studi Empiris

Studi empiris ini dilakukan berdasarkan data-data eksperimental hasil percobaan, obeservasi, dan pengamatan yang menunjang untuk kegiatan penelitian ini yang bersumber dari jurnal, tugas akhir, uji coba dan internet. Percobaan hasil penelitian yang diambil dari sumber-sumber tersebut yang berkaitan dengan analisa rangkaian listrik pada *Thermoelectric*, analisa perbedaan temperature yang

dapat dicapai optimal pada *Thermoelectric*, analisa sumber arus listrik yang diperlukan pada *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP), dan kebutuhan atau spesifikasi komponen penunjang *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP).

3. **Pembuatan *Prototype Thermoelectric* sebagai Sumber Arus Listrik**

Tahap ini merupakan tahap yang dilakukan setelah semua tahap pada Studi Literatur dan Studi Empiris telah dilakukan. Pada tahap ini dilakukan pembuatan *Prototype Thermoelectric* sebagai penghasil sumber arus listrik. *Prototype Thermoelectric* dibuat dengan menggunakan 4 *Thermoelectric* yang disusun secara seri dan paralel, kemudian *Thermoelectric* ditempelkan ke *Heat Sink* yang sudah dimodifikasi dengan menggunakan *Thermal Pasta*. Kemudian akan dilakukan beberapa percobaan untuk divalidasi apakah data yang dihasilkan dari percobaan *Prototype* ini sesuai atau tidak sesuai.



Gambar 3.1. *Prototype Thermoelectric*

4. **Percobaan I**

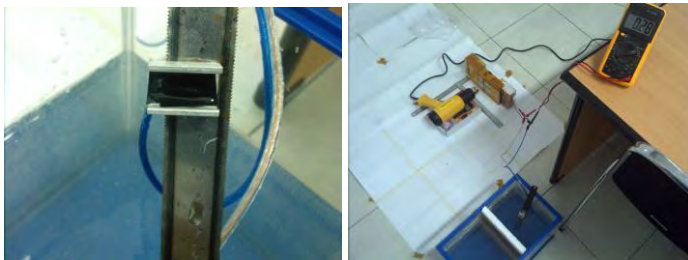
Percobaan tahap I dibagi menjadi 2 percobaan, yaitu Sirkulasi Natural (*Natural Circulation*) dan Sirkulasi Paksa (*Force Circulation*).

5. **Pengambilan dan Analisa Data I**

Setelah dilakukan pembuatan *Prototype Thermoelectric* sebagai sumber arus listrik dan sudah melakukan percobaan I maka selanjutnya adalah melakukan pengambilan hasil data untuk mengetahui kinerja dari percobaan yang telah divalidasi. Untuk menunjang analisa hasil percobaan dari pengambilan data maka akan dibuat beberapa grafik.

6. **Penerapan *Prototype Thermoelectric* pada *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)***

Tahap ini merupakan tahap yang dilakukan setelah tahap pembuatan *Prototype Thermoelectric* sebagai penghasil sumber arus listrik telah dilakukan. Pada tahap ini dilakukan penerapan *Prototype Thermoelectric* kedalam proses proteksi katodik pada metode arus paksa (ICCP) dengan membuat bahan uji coba terlebih dahulu. Bahan uji coba terdiri dari 2 gergaji besi tipis, dimana salah satu gergaji tersebut telah dipasang anoda *Alumunium* dengan kabel positif dan pelat gergaji besi sebagai katoda dengan kabel negatif. Kemudian akan dilakukan beberapa percobaan untuk divalidasi apakah data yang dihasilkan dari percobaan prototype ini sesuai atau tidak sesuai.



Gambar 3.2. Penerapan *Prototype Thermoelectric* pada ICCP

7. **Percobaan II**

Percobaan tahap II yaitu percobaan penerapan *Prototype Thermoelectric* pada *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP).

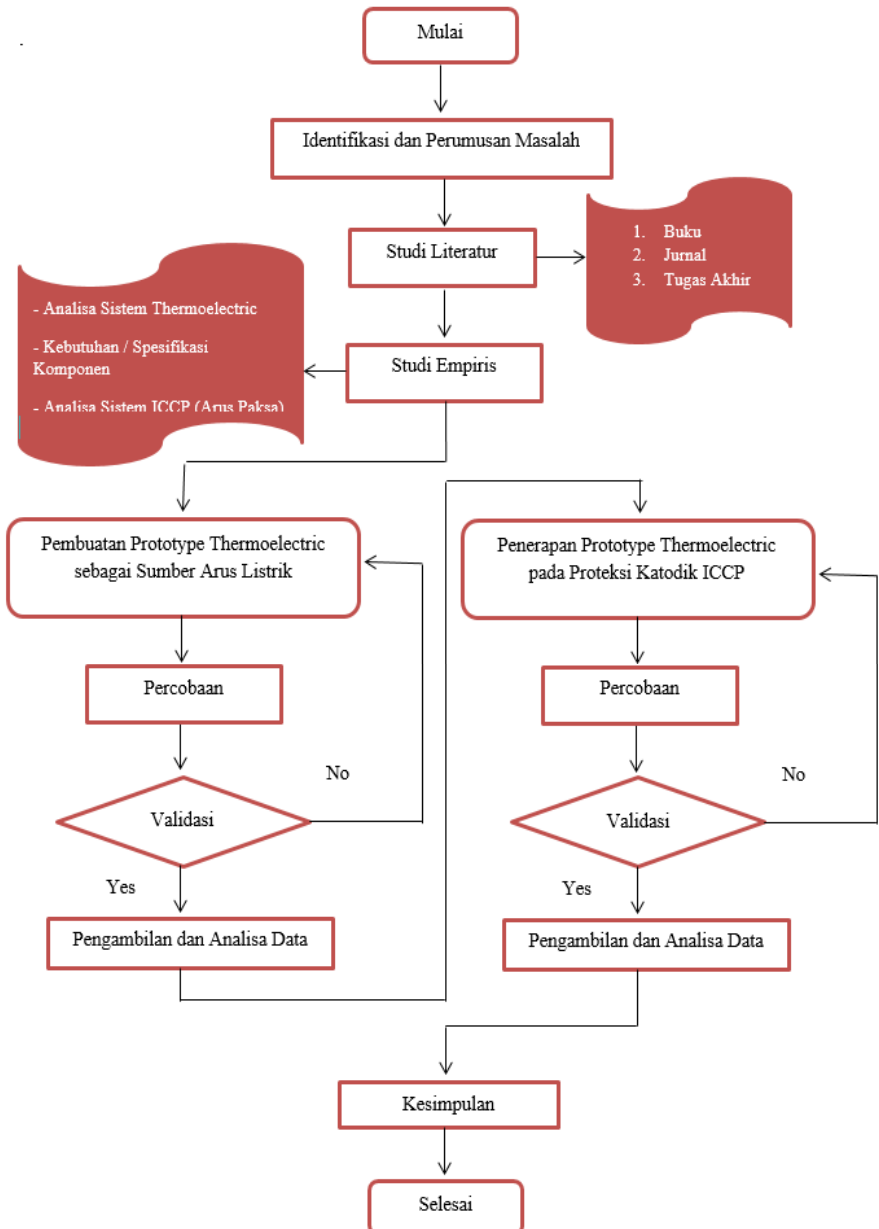
8. **Pengambilan dan Analisa Data II**

Setelah dilakukan penerapan *Prototype Thermoelectric* pada *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) dan sudah dilakukan percobaan II maka selanjutnya adalah melakukan pengambilan hasil data untuk mengetahui kinerja dari percobaan yang telah divalidasi. Untuk menunjang analisa hasil percobaan dari pengambilan data maka akan dibuat beberapa grafik.

9. **Kesimpulan**

Setelah semua tahapan telah dilakukan maka selanjutnya adalah menarik kesimpulan analisa data simulasi yang telah dilakukan. dan diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan tugas akhir ini adalah Analisa Penggunaan Thermoelectric sebagai Sumber Arus Listrik pada *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) untuk Pelat Lambung Kapal. Selain itu diperlukan saran berdasarkan hasil penelitian untuk perbaikan tugas akhir supaya lebih sempurna.

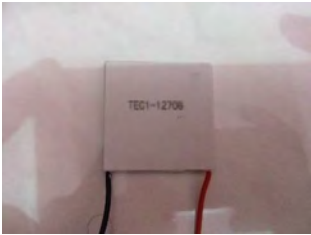
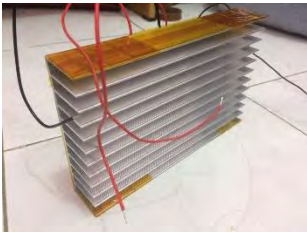
Secara sistematis, tugas akhir ini dilakukan dalam tahapan tahapan berikut:

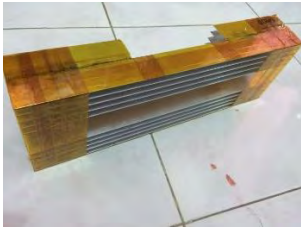





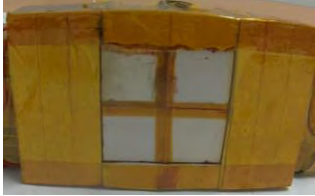


3.2. Bahan dan Peralatan yang Digunakan



Penelitian ini terdapat dua langkah percobaan yang terdiri dari beberapa bahan dan peralatan yang digunakan sebagai penunjang percobaan, adapun bahan dan peralatan tersebut sebagai berikut :






Tabel 3.1 Alat dan Bahan Percobaan

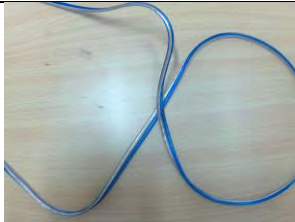



No	Nama Alat/Bahan	Gambar	Keterangan
Pembuatan <i>Prototype Thermoelectric</i>			
1	<i>Thermoelectric</i>		TEC1-12706 (3 buah) P = 40 mm L = 40 mm T = 3 mm A = 6 A V = 12 – 15 V D = 75 Watt
2	<i>Heat Sink</i>		Tebal (1 buah) P = 195 mm L = 120 mm T = 34 mm Jumlah sirip 12

3	<i>Heat Sink</i>		<p>Tipis Panjang (1 buah)</p> <p>P = 296 mm L = 95 mm T = 24 mm</p> <p>Jumlah sirip 10</p>
4	<i>Heat Sink</i>		<p>Tipis Pendek (2 buah)</p> <p>P = 94 mm L = 95 mm T = 24 mm</p> <p>Jumlah sirip 10</p>
5	<i>Thermal Pasta</i>		<p>Heat Sink Compound HY610</p> <p>Thermal Conductivity : >3.05 W/m-K</p> <p>Thermal Impedance : <0.073°C-in²/W</p>
6	<i>Red Silicone Sealant</i>		<p>Dextone Red Silicone Type 650</p> <p>Temperature range : 100°F + 650°F</p>

7	<i>Isolator Asbes</i>		<p>4 Buah Ukuran : 12,2 cm x 5,8 cm x 0,5 cm (2 buah)</p> <p>Ukuran : 8,1 cm x 2,0 cm x 0,5 cm (2 buah)</p>
8	<i>Kapton Tape</i>		<p>Isolasi anti panas yang dapat menahan panas hingga temperatur ± 100 °C dalam 1 helai isolasi</p>
Peralatan Percobaan <i>Prototype Thermoelectric</i>			
<i>1. Natural Circulation</i>			
9	<i>Heat Gun</i>		<p>SELLERY HG-500</p> <p>$f = 50$ Hz $V = 220$ V $D = 1500$ Watt $T = 300/500$ °C</p> <p>Mode = 1. 240 l/min 2. 420 l/min</p>

10	<i>Infrared Thermometer</i>		BENETECH GM320 Akurasi : ± 1.5 $^{\circ}\text{C} / \pm 1.5\%$ Temp ukur : -50 $^{\circ}\text{C} - 380$ $^{\circ}\text{C}$
11	<i>Multimeter Digital I</i>		Digital Multimeter DT- 9205A
14	Kabel dan Penjepit Buaya		Kabel Penjepit Buaya
15	<i>Electrical Tape</i>		3M – 1258 jr 18 mm x 18 m x 0,13 mm
16	Penggaris Besi		Penggaris Besi (2 Buah) Panjang 30 cm
2. Force Circulation			

Semua peralatan yang digunakan dalam percobaan <i>Prototype Thermoelectric dengan Natural Circulation</i>			
17	Kotak Sterofoam		Ukuran : 21,7 cm x 8,6 cm x 13,0 cm Dengan lubang dibelakang
18	Selang		Milliard Super Flex 1 “ Dengan panjang 3 meter
19	Isolasi		Nachi Tape Isolasi Coklat
Pembuatan bahan <i>Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)</i>			
20	Gergaji Besi Tipis		Gergaji Besi (2 buah) Ukuran : 33 cm x 2 cm
21	Anoda Alumunium		Anoda Alumunium Ukuran : 2,0 cm x 0,5 cm x 1,0 cm

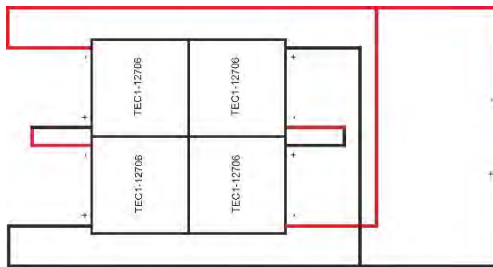
22	Kabel Plastik		Kabel terbungkus plastik Kabel positif dan negatif
Peralatan Percobaan <i>Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)</i>			
Semua peralatan yang digunakan dalam percobaan <i>Prototype Thermoelectric</i> dengan <i>Natural Circulation</i>			
23	Kotak Kaca (Akuarium)		Nisso 18 liter Ukuran : 359 mm x 220 mm x 262 mm Dengan pembatas sterofoam isolasi
24	Air Tawar		Air 1,5 liter berjumlah 7 10,5 liter
25	Garam		Garam cap Kapal 1 kg

3.3. Pembuatan Alat dan Bahan Percobaan

3.3.1. Pembuatan *Prototype Thermoelectric*

Langkah Pertama =

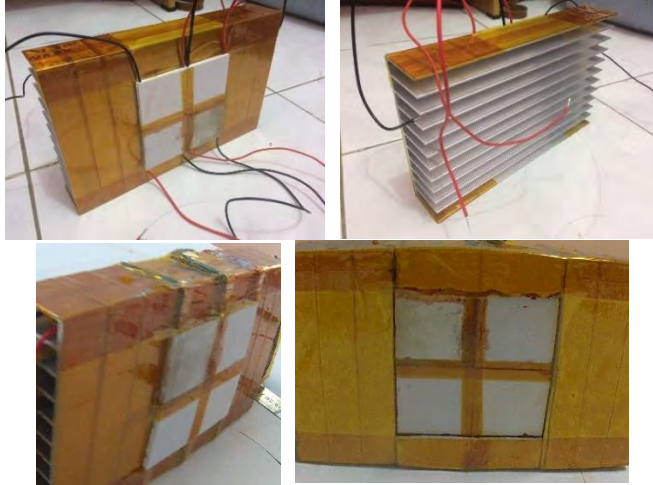
1. Susun 4 *Thermoelectric* dengan rangkaian sebagai berikut : 2 *Thermoelectric* disusun seri pada bagian atas; 2 *Thermoelectric* disusun seri pada bagian bawah; lalu kedua rangkaian *Thermoelectric* atas dan bawah tersebut di paralelkan.



Gambar 3.3. Susunan rangkain 4 *Thermoelectric*

2. Tempelkan masing-masing *Thermoelectric* tersebut dengan menggunakan *Red Silicone Sealant*, kemudian diberi isolasi *Kapton Tape* untuk mengisolasi bagian tengah dari *Thermoelectric* tersebut.
3. Pemasangan 4 *Thermoelectric* yang telah disusun ke dalam *Heat Sink* tebal pada bagian tengah dengan menggunakan *Thermal Pasta*.
4. Sambungkan tiap-tiap kabel *Thermoelectric* yang telah disusun sesuai rangkaian, kemudian diberi isolasi *Kapton Tape* untuk mengisolasi bagian kabel, permukaan samping, dan permukaan depan *Heat Sink* tebal.
5. Tempelkan *Isolator Asbes* pada permukaan bagian depan *Heat Sink* tebal dengan menggunakan *Red*

Silicone Sealant, kemudian diberi isolasi *Kapton Tape* pada permukaan *Isolator Asbes*.

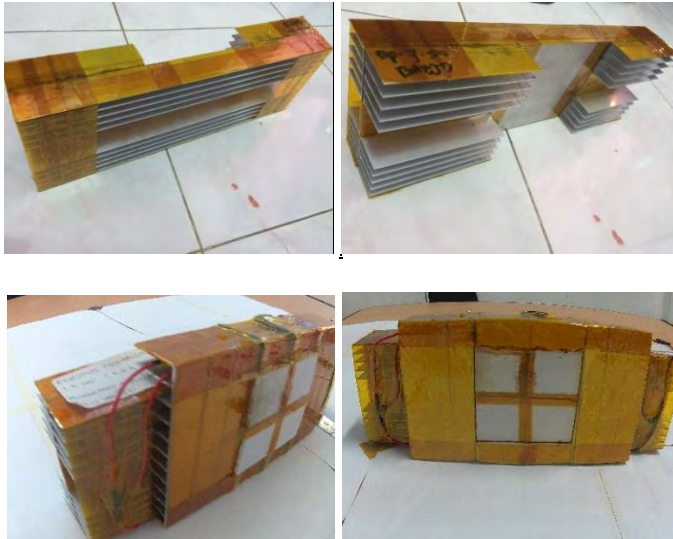


Gambar 3.4. Langkah pertama dalam Pembuatan *Prototype Thermoelectric*

Langkah Kedua =

6. Tempelkan 2 *Heat Sink* tipis pendek pada tiap-tiap ujung dari *Heat Sink* tipis panjang dengan menggunakan *Thermal Pasta*, kemudian diberi isolasi *Kapton Tape* untuk mengisolasi dan merekatkan bagian *Heat Sink* tipis pendek dan panjang.
7. Sambungkan *Heat Sink* pada bagian Langkah Pertama dengan *Heat Sink* tipis panjang pada bagian tengah dengan menggunakan *Thermal Pasta* pada bagian ujung-ujung sirip dari *Heat Sink* tebal dan *Heat Sink* tipis.
8. Pada tahap akhir, lindungi bagian ujung-ujung sirip *Heat Sink* tipis panjang yang tidak tersambung pada

bagian Heat Sink Langkah Pertama dengan menggunakan isolasi *Kapton Tape*.



Gambar 3.5. Langkah kedua dalam Pembuatan *Prototype Thermoelectric*

3.3.2. Pembuatan *Impressed Current Cathodic Protection*

Langkah Pertama =

1. Tempelkan *Aluminium* (Anoda) pada gergaji besi tipis (Katoda) di posisi bagian tengah dengan menggunakan *Sealant*
2. Sambungkan kabel dengan kutub positif (+) pada *Aluminium* sebagai anoda dan kutub negatif (-) pada bagian bawah gergaji besi tipis sebagai katoda
3. Eratkan sambungan kabel dengan menggunakan *Electrical Tape* dan *Sealant* supaya menghindari terjadinya kebocoran air pada kabel



Gambar 3.6. langkah pertama dalam pembuatan ICCP

Langkah Kedua =

4. Siapkan kotak kaca (Akuarium) dengan berisikan air tawar 10,5 liter dan garam 1 kg, kemudian aduk air hingga garam terlarut dalam air
5. Siapkan pembatas untuk membagi dua sisi dari kotak kaca (Akuarium)
6. Letakkan gergaji besi tipis yang sudah diberi anoda dan kabel pada sisi bagian kiri akuarium, dan gergaji besi tipis yang tidak diberi anoda pada sisi bagian kanan akuarium
7. Pada tahap akhir, hubungkan kabel pada *Prototype Thermoelectric* dengan rangkaian saat sirkulasi ruangan (*Natural Circulation*) dan celupkan kedua gergaji besi tipis tersebut kedalam akuarium yang sudah berisikan air garam



Gambar 3.7. langkah kedua dalam pembuatan ICCP

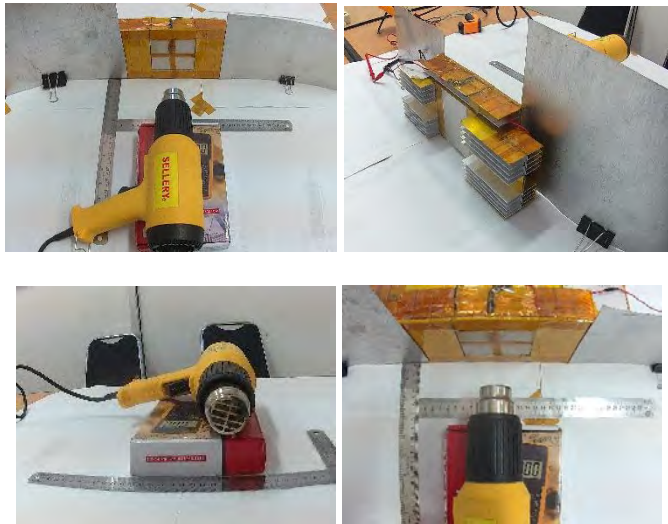
3.4. Prosedur Percobaan

Percobaan *Prototype Thermoelectric* dibagi menjadi 2 percobaan, yaitu percobaan dengan sirkulasi natural (*Natural Circulation*) dan percobaan dengan sirkulasi paksa (*Force Circulation*). Berikut merupakan langkah-langkah dalam melakukan percobaan dengan sirkulasi natural (*Natural Circulation*) dan percobaan dengan sirkulasi paksa (*Force Circulation*) :

3.4.1. Percobaan *Prototype Thermoelectric* Sirkulasi Natural

1. Siapkan percobaan pada ruangan yang memiliki *Air Conditioner* dan meja yang telah diberi alas
2. Letakkan *Prototype Thermoelectric* pada meja yang telah disediakan
3. Posisikan *Prototype Thermoelectric* tepat dibawah hembusan *Air Conditioner* dengan bagian belakang mengarah ke *Air Conditioner*
4. Siapkan terminal sebagai sumber arus listrik untuk *Heat Gun* dekat dengan alat percobaan
5. Letakkan *Heat Gun* beserta dudukannya tepat horizontal pada posisi tengah dan berada pada bagian depan *Prototype Thermoelectric*
6. Letakkan pelat seng di antara kedua sisi *Heat Gun* untuk menghindari aliran panas ke bagian sisi kanan dan kiri dari *Prototype Thermoelectric*
7. Letakkan penggaris besi pada sebelah kiri diantara *Prototype Thermoelectric* dan *Heat Gun* dengan jarak yang telah ditentukan dalam percobaan (20 cm, 15 cm, 10 cm dan 5 cm)
8. Siapkan *Infrared Thermometer* untuk mengukur suhu yang telah ditentukan dalam percobaan (*Hot Side Thermoelectric*, *Cold Side Thermoelectric*, Temperature Sisi Kiri, Temperature Sirip Kiri, Temperature Sisi Kanan, Temperature Sirip Kanan)

9. Siapkan *Stopwatch* untuk mengukur waktu yang telah ditentukan dalam percobaan (2 menit, 4 menit, 6 menit, 8 menit, dan 10 menit)
10. Hubungkan kabel dari *Prototype Thermoelectric* ke Multimeter digital untuk mengukur arus dan tegangan secara bergantian dengan selisih 1 menit.
11. Nyalakan *Heat Gun* dengan mode yang telah ditentukan dalam percobaan (mode 1 dan mode 2)
12. Percobaan dilakukan dengan pengambilan data sebagai berikut :



Gambar 3.8. Rangkaian Percobaan *Prototype Thermoelectric* pada Sirkulasi Natural

- Percobaan 1 (20 cm, mode 1) :
 - 2 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 4 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 6 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 8 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 10 menit menghasilkan (A, V dan T).
- Percobaan 2 (20 cm, mode 2) :
 - 2 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 4 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 6 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 8 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 10 menit menghasilkan (A, V dan T).
- Percobaan 3 (15 cm, mode 1) :
 - 2 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 4 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 6 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 8 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 10 menit menghasilkan (A, V dan T).
- Percobaan 4 (15 cm, mode 2) :
 - 2 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 4 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 6 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 8 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 10 menit menghasilkan (A, V dan T).
- Percobaan 5 (10 cm, mode 1) :
 - 2 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 4 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 6 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 8 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 10 menit menghasilkan (A, V dan T).
- Percobaan 6 (10 cm, mode 2) :
 - 2 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 4 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 6 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 8 menit menghasilkan (A, V dan T)

- 10 menit menghasilkan (A, V dan T).
- Percobaan 7 (5 cm, mode 1) :
 - 2 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 4 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 6 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 8 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 10 menit menghasilkan (A, V dan T).
- Percobaan 8 (5 cm, mode 2) :
 - 2 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 4 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 6 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 8 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 10 menit menghasilkan (A, V dan T).
- 13. Catat hasil pada percobaan yang telah ditentukan pada tabel 3.2. ke dalam Pengolahan Data komputer.

3.4.2. Percobaan *Prototype Thermoelectric* Sirkulasi Paksa

1. Siapkan percobaan pada ruangan yang memiliki *Air Conditioner* dan meja yang telah diberi alas
2. Letakkan *Prototype Thermoelectric* pada meja yang telah disediakan
3. Posisikan *Prototype Thermoelectric* tepat dibawah hembusan *Air Conditioner* dengan bagian belakang mengarah ke *Air Conditioner*
4. Hubungkan selang pada hembusan *Air Conditioner* dengan kotak *Stereofoam* yang telah diisolasi, kemudian isolasi bagian hembusan *Air Conditioner* yang bukan merupakan tempat keluaran selang
5. Hubungkan kotak *Stereofoam* dengan *Prototype Thermoelectric* pada bagian sisi kiri
6. Siapkan terminal sebagai sumber arus listrik untuk *Heat Gun* dekat dengan alat percobaan

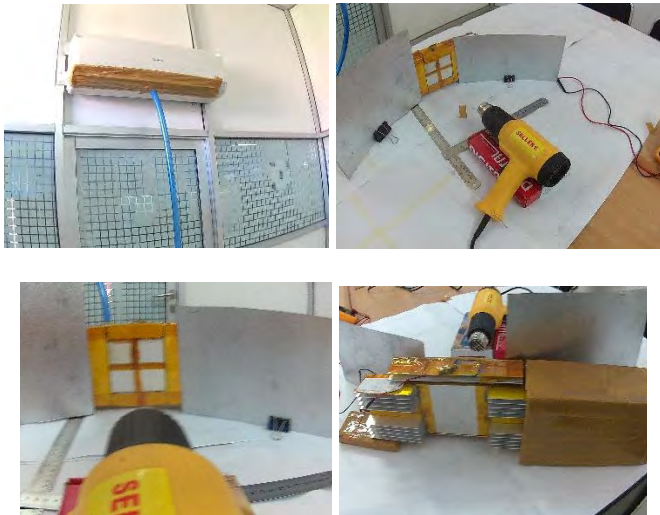
7. Letakkan *Heat Gun* beserta dudukannya tepat horizontal pada posisi tengah dan berada pada bagian depan *Prototype Thermoelectric*
8. Letakkan pelat seng di antara kedua sisi *Heat Gun* untuk menghindari aliran panas ke bagian sisi kanan dan kiri dari *Prototype Thermoelectric*
9. Letakkan penggaris besi pada sebelah kiri diantara *Prototype Thermoelectric* dan *Heat Gun* dengan jarak yang telah ditentukan dalam percobaan (20 cm, 15 cm, 10 cm dan 5 cm)
10. Siapkan *Infrared Thermometer* untuk mengukur suhu yang telah ditentukan dalam percobaan (*Hot Side Thermoelectric*, *Cold Side Thermoelectric*, Temperature Sisi Kiri, Temperature Sisi Kanan, Temperature Sirip Kanan)
11. Siapkan *Stopwatch* untuk mengukur waktu yang telah ditentukan dalam percobaan (2 menit, 4 menit, 6 menit, 8 menit, dan 10 menit)
12. Hubungkan kabel dari *Prototype Thermoelectric* ke Multimeter digital untuk mengukur arus dan tegangan secara bergantian dengan selisih 1 menit.
13. Nyalakan *Heat Gun* dengan mode yang telah ditentukan dalam percobaan (mode 1 dan mode 2)
14. Percobaan dilakukan dengan pengambilan data sebagai berikut :

Tabel 3.3. Percobaan Prototype Thermoelectric Force Circulation

2														
Percobaan	Jarak	Kec	Kec	Satuan = mm m/s l/min										
1	0.20	0.04	240	Hot Surface Cold Surface	Δt	Ams	Ams	Tegangan	Daya	t kaman	t sirip kaman	t kiri	t sirip kiri	
2	0.20	0.07	420		0	0	0.0000	0.0000	0.0000					
3	0.15	0.04	240		0	0	0.0000	0.0000	0.0000					
4	0.15	0.07	420		0	0	0.0000	0.0000	0.0000					
5	0.10	0.04	240		0	0	0.0000	0.0000	0.0000					
6	0.10	0.07	420		0	0	0.0000	0.0000	0.0000					
7	0.05	0.04	240		0	0	0.0000	0.0000	0.0000					
8	0.05	0.07	420		0	0	0.0000	0.0000	0.0000					
Ment				-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	
4														
Ment				-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	
8														
Ment				-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	
6														
Ment				-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	
10														
Ment				-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	
Aval														
Aval				-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	-C	

- Percobaan 1 (20 cm, mode 1) :
 - 2 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 4 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 6 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 8 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 10 menit menghasilkan (A, V dan T).
- Percobaan 2 (20 cm, mode 2) :
 - 2 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 4 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 6 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 8 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 10 menit menghasilkan (A, V dan T).
- Percobaan 3 (15 cm, mode 1) :
 - 2 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 4 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 6 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 8 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 10 menit menghasilkan (A, V dan T).
- Percobaan 4 (15 cm, mode 2) :
 - 2 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 4 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 6 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 8 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 10 menit menghasilkan (A, V dan T).
- Percobaan 5 (10 cm, mode 1) :
 - 2 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 4 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 6 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 8 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 10 menit menghasilkan (A, V dan T).
- Percobaan 6 (10 cm, mode 2) :
 - 2 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 4 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 6 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 8 menit menghasilkan (A, V dan T)

- 10 menit menghasilkan (A, V dan T).
 - Percobaan 7 (5 cm, mode 1) :
 - 2 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 4 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 6 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 8 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 10 menit menghasilkan (A, V dan T).
 - Percobaan 8 (5 cm, mode 2) :
 - 2 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 4 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 6 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 8 menit menghasilkan (A, V dan T)
 - 10 menit menghasilkan (A, V dan T).
15. Catat hasil pada percobaan yang telah ditentukan pada tabel 3.3. ke dalam Pengolahan Data komputer.



Gambar 3.9. Rangkaian Percobaan *Prototype Thermoelectric* pada Sirkulasi Paksa

3.4.3. Percobaan *Impressed Current Cathodic Protection*

Berikut merupakan langkah-langkah dalam melakukan percobaan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) :

1. Siapkan percobaan pada ruangan yang memiliki *Air Conditioner*
2. Siapkan kotak kaca (Akuarium) yang sudah berisikan air liter 10,5 liter dengan garam 1 kilogram, serta diberi pembatas sterofoam yang sudah terisolasi pada bagian tengahnya
3. Letakkan *Prototype Thermoelectric* dibawah lantai, serta posisikan *Prototype Thermoelectric* tepat dibawah hembusan *Air Conditioner* dengan bagian belakang mengarah ke *Air Conditioner*
4. Siapkan terminal sebagai sumber arus listrik untuk *Heat Gun* dekat dengan alat percobaan
5. Letakkan *Heat Gun* beserta dudukannya tepat horizontal pada posisi tengah dan berada pada bagian depan *Prototype Thermoelectric*
6. Letakkan penggaris besi pada sebelah kiri diantara *Prototype Thermoelectric* dan *Heat Gun* dengan jarak yang telah ditentukan dalam percobaan yaitu 5 cm
7. Siapkan *Stopwatch* untuk mengukur waktu yang telah ditentukan dalam percobaan yaitu pengambilan data selama 3 jam tiap 5 menit sekali
8. Hubungkan kabel dari *Prototype Thermoelectric* ke Multimeter digital untuk mengukur tegangan dalam waktu 3 jam selama 5 menit.
9. Hubungkan kabel dari gergaji besi tipis yang sudah diberi anoda *Alumunium* ke *Prototype Thermoelectric*
10. Celupkan kedua gergaji besi tipis secara bersamaan kedalam akuarium yang telah` diberi air garam

11. Nyalakan *Heat Gun* dengan mode yang telah ditentukan dalam percobaan (mode 1 dan mode 2). Percobaan dilakukan dengan pengambilan data sebagai berikut :

Tabel 3.4. Percobaan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP)

Percobaan ICCP					
Menit	Volt	Menit	Volt	Menit	Volt
5		65		125	
10		70		130	
15		75		135	
20		80		140	
25		85		145	
30		90		150	
35		95		155	
40		100		160	
45		105		165	
50		110		170	
55		115		175	
60		120		180	



Gambar 3.10. Rangkaian Percobaan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP)

3.5. Pengambilan Data Percobaan

Hasil dari data tabel diatas merupakan hasil dari pengambilan data pada percobaan. Berikut merupakan penjabaran lebih detail terkait pengambilan data pada percobaan *Prototype Thermoelectric* pada sirkulasi natural dan sirkulasi paksa :

3.5.1. Sisi Panas dan Sisi Dingin *Prototype Thermoelectric*

Sisi panas dan dingin dari *Thermoelectric* diukur dengan menggunakan *Infrared Thermometer* dengan cara menembakkan laser pada posisi yang akan diukur temperaturnya.



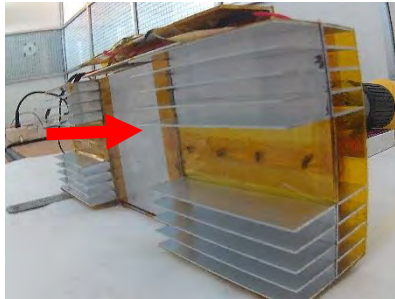
Gambar 3.11. Pengukuran temperatur dengan *Infrared Thermometer*

Dikarenakan *Prototype Thermoelectric* terdiri dari empat *Thermoelectric* maka bagian sisi panas yang diukur diambil dari bagian tengah dari keempat *Thermoelectric*.



Gambar 3.12. Pengukuran sisi panas *Prototype Thermoelectric*

Untuk pengukuran temperatur pada sisi dingin *Prototype Thermoelectric* dilakukan pada sisi tengah bagian terbelakang dari *Heat Sink*.



Gambar 3.13. Pengukuran sisi dingin *Prototype Thermoelectric*

3.5.2. Arus dan Tegangan *Prototype Thermoelectric*

Arus dan tegangan yang dihasilkan dari *Prototype Thermoelectric* dengan memanfaatkan perbedaan temperature pada kedua sisi *Thermoelectric* merupakan arus searah (*Direct Current*).

Pengukuran *Prototype Thermoelectric* dilakukan dengan menggunakan *Multimeter Digital* dengan cara menghubungkan kabel positif dan negatif dari *Prototype Thermoelectric* ke *Multimeter Digital*. Pengukuran arus dan tegangan diukur dengan menggunakan 1 *Multimeter Digital* yang dilakukan secara bergantian dengan jangka waktu 2 menit, 4 menit, 6 menit, 8 menit, dan 10 menit.



Gambar 3.14. Pengukuran arus dan tegangan dengan *Multimeter Digital*

3.5.3. Daya *Prototype Thermoelectric*

Untuk mengukur daya yang keluar dari percobaan *Prototype Thermoelectric* bisa dihitung dengan menggunakan persamaan umum sebagai berikut :

$$P = V \times I$$

Keterangan :

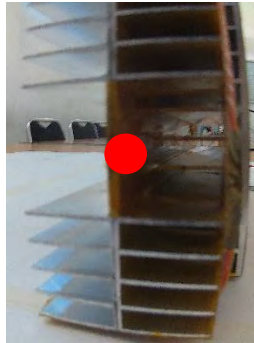
P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

3.5.4. Temperature Sirip *Prototype Thermoelectric*

Pengukuran temperatur di sirip *Prototype Thermoelectric* bertujuan untuk memastikan temperatur pada sisi dingin dari *Thermoelectric* dapat terserap oleh *Heat Sink* pada bagian belakang. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Infrared Thermometer* pada sisi sirip bagian tengah kanan dan tengah kiri dari *Prototype Thermoelectric*.



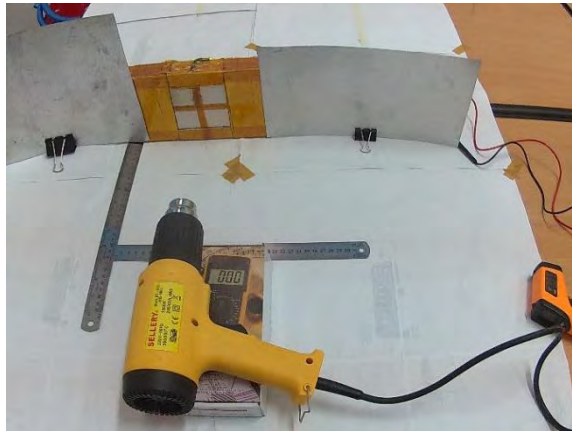
Gambar 3.15. Pengukuran Temperature Sirip-sirip pada *Prototype Thermoelectric*

Untuk percobaan sirkulasi paksa tidak dapat dilakukan pengukuran pada sisi sirip kiri dikarenakan digunakan untuk kotak sterofoam sebagai media perantara dari *Force Circulation*

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Percobaan *Prototype Thermoelectric Natural Circulation*

Dalam penelitian mengenai analisa efisiensi dan kinerja dari *Prototype Thermoelectric* dengan menggunakan Sirkulasi Natural (*Natural Circulation*) pada suhu ruangan 22 – 23 °C, terdapat beberapa data percobaan yang diambil tiap 2 menit selama penelitian 10 menit diantaranya, jarak pengukuran (cm), debit aliran *Heat Gun* (l/min), tegangan (Volt), arus (Ampere), daya (Watt), temperatur sisi panas (°C), temperatur sisi dingin (°C), perbedaan temperatur (°C), temperatur sirip kanan (°C), dan temperatur sirip kiri (°C).



Gambar 4.1. Percobaan *Natural Circulation*

Berikut merupakan tabel hasil pengambilan data dari percobaan *Prototype Thermoelectric* pada sirkulasi natural berdasarkan debit *Heat Gun* :

Percobaan	Jarak	Kec	Kec								
1	0,20	0,004	240	6							
2	0,20	0,007	420								
3	0,15	0,004	240								
4	0,15	0,007	420								
5	0,10	0,004	240								
6	0,10	0,007	420								
7	0,05	0,004	240								
8	0,05	0,007	420								
				Hot Surface	Cold Surface	Δt	Arus	Tegangan	Daya	Sirip Ka	Sirip Ki
				57	22	35	0,14	1,34	0,1876	25	28
				88	23	65	0,21	2,21	0,4641	35	39
				66	22	44	0,18	1,63	0,2934	29	33
				102	26	76	0,26	2,79	0,7254	36	48
				79	22	57	0,2	2,14	0,4280	32	30
				115	25	90	0,31	3,55	1,1005	43	49
				91	22	69	0,26	2,75	0,7150	37	37
				140	24	116	0,39	4,61	1,7979	51	50

Satuan = m m3/s l/min Menit °C °C °C A Volt Watt °C °C

Percobaan	Jarak	Kec	Kec	8															
Hot Surface	Cold Surface	Δt	Arus									Tegangan	Daya	Sirip Ka	Sirip Ki				
1	0,20	0,004	240									59	22	37	0,13	1,29	0,1677	28	28
2	0,20	0,007	420									92	23	69	0,199	2,2	0,4378	36	40
3	0,15	0,004	240									68	22	46	0,16	1,62	0,2592	32	34
4	0,15	0,007	420									102	29	73	0,25	2,69	0,6725	40	50
5	0,10	0,004	240									82	23	59	0,2	2,09	0,4180	30	38
6	0,10	0,007	420									117	25	92	0,3	3,45	1,0350	41	48
7	0,05	0,004	240	94	22	72	0,25	2,71	0,6775	35	38								
8	0,05	0,007	420	143	25	118	0,38	4,45	1,6910	47	53								

Satuan = m m3/s l/min Menit °C °C °C A Volt Watt °C °C

Percobaan	Jarak	Kec	Kec	Hot Surface	Cold Surface	Δt	Arus	Tegangan	Daya	Sirip Ka	Sirip Ki
1	0,20	0,004	240	60	23	37	0,13	1,27	0,1651	26	32
2	0,20	0,007	420	100	25	75	0,195	2,18	0,4251	37	42
3	0,15	0,004	240	72	23	49	0,16	1,6	0,2560	35	33
4	0,15	0,007	420	106	30	76	0,24	2,64	0,6336	44	51
5	0,10	0,004	240	84	24	60	0,2	2,05	0,4100	32	36
6	0,10	0,007	420	123	26	97	0,29	3,41	0,9889	49	54
7	0,05	0,004	240	96	23	73	0,25	2,65	0,6625	39	38
8	0,05	0,007	420	145	26	119	0,37	4,35	1,6095	49	57

10

Satuan = m m3/s l/min Menit

°C

°C

Watt

Volt

A

°C

°C

°C

4.2. Percobaan *Prototype Thermoelectric Force Circulation*

Dalam penelitian mengenai analisa efisiensi dan kinerja dari *Prototype Thermoelectric* dengan menggunakan Sirkulasi Paksa (*Force Circulation*) pada suhu ruangan 25 – 26 °C, terdapat beberapa data percobaan yang diambil tiap 2 menit selama penelitian 10 menit diantaranya, jarak pengukuran (cm), debit aliran *Heat Gun* (l/min), tegangan (Volt), arus (Ampere), daya (Watt), temperatur sisi panas (°C), temperatur sisi dingin (°C), perbedaan temperatur (°C), temperatur sirip kanan (°C), dan temperatur sirip kiri (°C).



Gambar 4.2. Percobaan *Force Circulation*

Berikut merupakan tabel hasil pengambilan data dari percobaan *Prototype Thermoelectric* pada sirkulasi paksa berdasarkan debit *Heat Gun* :

Percobaan	Jarak	Kec	Kec							
1	0,20	0,004	240							
2	0,20	0,007	420							
3	0,15	0,004	240							
4	0,15	0,007	420							
5	0,10	0,004	240							
6	0,10	0,007	420							
7	0,05	0,004	240							
8	0,05	0,007	420							

Hot Surface	Cold Surface	Δt	Arus	Tegangan	Daya	Strip Ka	Strip Ki
64	26	38	0,14	1,48	0,207	36	
104	30	74	0,20	2,31	0,462	51	
95	31	64	0,18	1,74	0,313	54	
119	30	89	0,24	2,85	0,684	63	
118	30	88	0,19	2,22	0,422	58	
143	30	113	0,32	3,95	1,264	72	
123	31	92	0,24	2,78	0,667	63	
180	34	146	0,37	4,75	1,758	70	

Satuan = m m3/s l/rnin Menit °C °C A Volt Watt °C °C

Percobaan	Jarak	Kec	Kec							
1	0,20	0,004	240							
2	0,20	0,007	420							
3	0,15	0,004	240							
4	0,15	0,007	420							
5	0,10	0,004	240							
6	0,10	0,007	420							
7	0,05	0,004	240							
8	0,05	0,007	420							

Hot Surface	Cold Surface	Δt	Arus	Tegangan	Daya	Strip Ka	Strip Ki
70	26	44	0,14	1,43	0,2002	35	
107	30	77	0,19	2,23	0,4237	57	
97	31	66	0,18	1,74	0,3132	54	
121	31	90	0,24	2,81	0,6744	60	
105	30	75	0,18	2,17	0,3906	58	
138	32	106	0,31	3,74	1,1594	79	
128	32	96	0,23	2,69	0,6187	62	
175	35	140	0,36	4,47	1,6092	82	

Satuan = m m3/s l/rnin Menit °C °C A Volt Watt °C °C

Percobaan	Jarak	Kec	Kec	Hot Surface	Cold Surface	Δt	Arus	Tegangan	Daya	Sirip Ka	Sirip Ki
1	0,20	0,004	240	72	30	42	0,13	1,36	0,1768	38	
2	0,20	0,007	420	112	31	81	0,19	2,15	0,4085	59	
3	0,15	0,004	240	98	31	67	0,18	1,74	0,3132	54	
4	0,15	0,007	420	129	31	98	0,24	2,83	0,6792	66	
5	0,10	0,004	240	107	30	77	0,19	2,16	0,4104	59	
6	0,10	0,007	420	156	32	124	0,30	3,72	1,116	81	
7	0,05	0,004	240	132	32	100	0,23	2,67	0,6141	60	
8	0,05	0,007	420	183	35	148	0,34	4,43	1,5062	87	

Satuan =

m

m3/s

l/min

Menit

°C

°C

°C

A

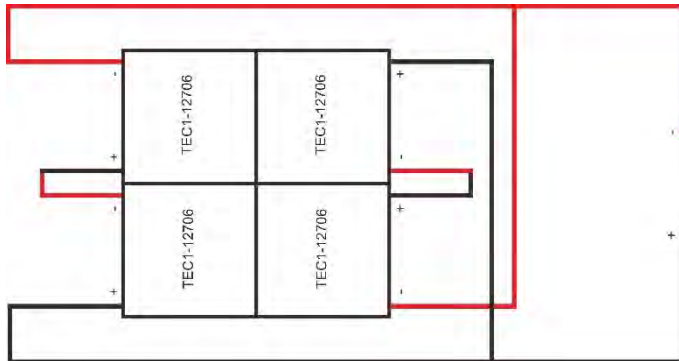
Volt

Watt

°C

°C

4.3. Perhitungan *Prototype Thermoelectric*



Gambar 4.3. Susunan Rangkaian *Prototype Thermoelectric*

Sebelum melakukan perhitungan, spesifikasi *Prototype Thermoelectric* yang digunakan harus diketahui terlebih dahulu. Berikut merupakan spesifikasi dari *Prototype Thermoelectric* yang digunakan :

Prototype Thermoelectric terdiri dari 4 *Thermoelectric*

Dimensi : 80 mm x 80 mm x 3,8 mm

Imax : 12 Ampere (Seri)

Vmax : 24 Volt (Paralel)

Berikut merupakan tabel hasil dari perhitungan dari percobaan *Prototype Thermoelectric* pada sirkulasi natural maupun sirkulasi paksa :

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Percobaan Prototype Thermoelectric Natural Circulation

Petrobahan	Jarak	Kec	Kec
1	0,20	0,004	240
2	0,20	0,007	420
3	0,15	0,004	240
4	0,15	0,007	420
5	0,10	0,004	240
6	0,10	0,007	420
7	0,05	0,004	240
8	0,05	0,007	420

Satuan =	m	m ³ /s	l/min	Menit	°C	°K	V/%K	°K/W	Ω	1/°K	W	W/cm ²	W
----------	---	-------------------	-------	-------	----	----	------	------	---	------	---	-------------------	---

Perobaan	Jarak	Kec	Kec	Th	ΔT_{max}	αm	θm	Rm	z	n	Oh	Qc	Qf	Pn
1	0,20	0,004	240	54	306	0,0734	33,0893	0,1284	1,3878	0,5707	2,3614	2,0224	0,0369	0,1935
2	0,20	0,007	420	82	333	0,0676	37,3153	0,1239	1,3760	0,6889	3,6691	2,7767	0,0573	0,6148
3	0,15	0,004	240	64	316	0,0712	35,2156	0,1246	1,4331	0,6306	2,8571	2,3366	0,0446	0,3283
4	0,15	0,007	420	93	340	0,0656	32,3272	0,1421	1,0059	0,6714	4,4590	3,2728	0,0697	0,7964
5	0,10	0,004	240	76	327	0,0688	36,0237	0,1261	1,3512	0,6676	3,7779	2,9610	0,0590	0,5454
6	0,10	0,007	420	110	360	0,0627	41,6304	0,1201	1,3611	0,7482	6,0632	4,2097	0,0947	1,3868
7	0,05	0,004	240	83	335	0,0674	39,4378	0,1180	1,5193	0,7060	4,9036	3,7751	0,0766	0,7967
8	0,05	0,007	420	127	377	0,0600	45,5314	0,1150	1,4253	0,7775	7,5462	4,9878	0,1179	1,9892

	m	m ³ /s	l/min	Metric	°C	K	V/%K	°K/W	Ω	1/°K	W	W/cm ²	W
Satuan =	m	m ³ /s	l/min	Metric	°C	K	V/%K	°K/W	Ω	1/°K	W	W/cm ²	W

Percobaan	Jarak	Kec	Kec	Th	ΔTmax	αm	βm	Rm	z	n	Qh	Qc	Qf	Pn
1	0,20	0,004	240	57	308	0,0727	32,0833	0,1333	1,2727	0,5719	2,2678	1,9114	0,0334	0,2038
2	0,20	0,007	420	88	338	0,0665	36,8412	0,1274	1,2779	0,6944	3,2729	2,3654	0,0511	0,6302
3	0,15	0,004	240	66	317	0,0708	33,9214	0,1298	1,3099	0,6238	3,0208	2,4601	0,0472	0,3498
4	0,15	0,007	420	102	349	0,0640	34,9559	0,1387	1,0325	0,6966	4,0611	2,7965	0,0635	0,8809
5	0,10	0,004	240	79	330	0,0682	36,6667	0,1250	1,3636	0,6786	3,2430	2,4657	0,0507	0,5275
6	0,10	0,007	420	115	363	0,0619	39,1233	0,1289	1,1616	0,7368	5,1334	3,4076	0,0802	1,2715
7	0,05	0,004	240	91	342	0,0659	39,2955	0,1209	1,4132	0,7159	4,4800	3,2971	0,0700	0,8468
8	0,05	0,007	420	140	389	0,0581	46,4864	0,1162	1,3507	0,7866	6,8558	4,2268	0,1071	2,0679

Satuan = m m/s l/min °C °K V/°K °K/W Ω l/°K l/°K W W W/cm2 W

Mencit

Percobaan	Jarak	Kec	Kec	8											
				Th	ΔTmax	αm	βm	Rm	z	n	Qh	Qc	Qf	Pn	
1	0,20	0,004	240	59	310	0,0723	32,4874	0,1325	1,2810	0,5848	1,9800	1,6323	0,0309	0,2033	
2	0,20	0,007	420	92	342	0,0658	37,6902	0,1260	1,2930	0,7060	2,9428	2,0399	0,0460	0,6374	
3	0,15	0,004	240	68	319	0,0704	34,3368	0,1290	1,3182	0,6335	2,4987	1,9807	0,0390	0,3282	
4	0,15	0,007	420	102	346	0,0640	31,0704	0,1547	0,8228	0,6622	3,6457	2,4777	0,0570	0,7735	
5	0,10	0,004	240	82	332	0,0676	35,5857	0,1296	1,2552	0,6750	3,1394	2,2417	0,0491	0,5365	
6	0,10	0,007	420	117	365	0,0615	39,5417	0,1282	1,1680	0,7406	4,8876	3,1691	0,0761	1,2579	
7	0,05	0,004	240	94	345	0,0654	39,9669	0,1199	1,4256	0,7238	4,1948	3,0176	0,0655	0,8520	
8	0,05	0,007	420	143	391	0,0577	45,1822	0,1202	1,2512	0,7817	6,4997	3,9128	0,1016	2,0223	

Satuan = m m/s l/min °C °K V/°K °K/W Ω l/°K l/°K W W W/cm2 W

Mencit

Percobaan	Jarak	Kec	Kec	Th	ΔTmax	um	bm	Rm	z	n	Qh	Qc	Qf	Pn
1	0,20	0,004	240	58	307	0,0725	29,4031	0,1450	1,0660	0,5415	2,4420	2,0722	0,0382	0,2002
2	0,20	0,007	420	99	343	0,0645	30,5546	0,1559	0,8157	0,6535	2,9852	1,9917	0,0466	0,6492
3	0,15	0,004	240	92	335	0,0658	28,3044	0,1644	0,7444	0,6186	2,1269	1,3931	0,0332	0,4539
4	0,15	0,007	420	115	358	0,0619	32,1537	0,1546	0,7956	0,6848	3,3912	2,2242	0,0561	0,9362
5	0,10	0,004	240	113	356	0,0622	31,8093	0,1554	0,7911	0,6801	2,1876	1,1555	0,0342	0,7019
6	0,10	0,007	420	140	382	0,0581	35,3418	0,1501	0,7950	0,7248	5,0672	2,9136	0,0792	1,5609
7	0,05	0,004	240	113	355	0,0622	30,6967	0,1606	0,7388	0,6696	3,3237	2,0491	0,0519	0,8535
8	0,05	0,007	420	160	400	0,0554	36,4478	0,1524	0,7346	0,7387	6,3428	3,4567	0,0991	2,1318

Satuan = m m3/s l/min °C °K V/°K °K/W Ω l/°K l/°K W W W/cm2 W

6														
Percobaan	Jarak	Kec	Kec	Th	ΔT_{max}	um	bm	Rm	z	n	Qh	Qc	Qf	Pn
1	0,20	0,004	240	64	311	0,0712	27,9933	0,1543	0,9201	0,5456	2,0010	1,6221	0,0313	0,2067
2	0,20	0,007	420	104	347	0,0637	30,2822	0,1592	0,7711	0,6566	2,3531	1,4110	0,0368	0,6186
3	0,15	0,004	240	95	337	0,0652	27,7814	0,1685	0,7014	0,6169	2,0136	1,2623	0,0315	0,4635
4	0,15	0,007	420	119	362	0,0612	32,8481	0,1531	0,8044	0,6939	3,0462	1,7384	0,0476	0,9075
5	0,10	0,004	240	118	361	0,0614	32,6738	0,1535	0,8022	0,6917	1,8639	0,8377	0,0291	0,7099
6	0,10	0,007	420	143	386	0,0577	37,1704	0,1442	0,8578	0,7383	4,6336	2,5464	0,0724	1,5403
7	0,05	0,004	240	123	365	0,0606	32,3790	0,1566	0,7596	0,6927	2,9141	1,5760	0,0455	0,9269
8	0,05	0,007	420	180	419	0,0530	38,7678	0,1501	0,7249	0,7565	5,1037	2,2417	0,0797	2,1650

Satuan = m m3/s l/min °C °K V/°K °K/W Ω l/°K l/°K W W W/cm2 W

Percobaan	Jarak	Kec	Kec	Th	ΔTmax	αm	θm	Rm	z	n	Qh	Qc	Qf	Pn
1	0.20	0.004	240	70	317	0.0700	29,0414	0.1516	0.9379	0.5797	1.8434	1.4124	0.0288	0.2499
2	0.20	0.007	420	107	350	0.0632	30.7870	0.1579	0.7778	0.6648	2.0561	1.1321	0.0321	0.6143
3	0.15	0.004	240	97	339	0.0649	28,0981	0.1676	0.7055	0.6236	1.9684	1.1978	0.0308	0.4806
4	0.15	0.007	420	121	363	0.0609	32,0390	0.1574	0.7555	0.6883	2.9464	1.6307	0.0460	0.9057
5	0.10	0.004	240	105	348	0.0635	30,4500	0.1587	0.7733	0.6594	1.8544	0.9972	0.0290	0.5652
6	0.10	0.007	420	138	379	0.0584	33,8040	0.1557	0.7402	0.7125	4.2968	2.3780	0.0671	1.3672
7	0.05	0.004	240	128	369	0.0599	32,1113	0.1596	0.7207	0.6935	2.5262	1.2047	0.0395	0.9164
8	0.05	0.007	420	175	413	0.0536	36,7111	0.1563	0.6743	0.7433	4.8163	2.1163	0.0753	2.0068

Satuan =

m

m³/s

l/min

Menit

8

Percobaan	Jarak	Kec	Kec	Th	ΔTmax	αm	θm	Rm	z	n	Qh	Qc	Qf	Pn
1	0.20	0.004	240	72	315	0.0696	25,1563	0.1739	0.7000	0.5293	1.4490	1.0691	0.0226	0.2010
2	0.20	0.007	420	112	354	0.0623	30.5309	0.1610	0.7367	0.6671	1.9040	0.9447	0.0298	0.6400
3	0.15	0.004	240	98	340	0.0647	28.2572	0.1671	0.7076	0.6269	1.9462	1.1661	0.0304	0.4891
4	0.15	0.007	420	129	371	0.0597	33,4099	0.1542	0.7721	0.7049	2.8223	1.4181	0.0441	0.9898
5	0.10	0.004	240	107	350	0.0632	30,7870	0.1579	0.7778	0.6648	2.0561	1.1321	0.0321	0.6143
6	0.10	0.007	420	156	397	0.0559	36,9603	0.1492	0.7754	0.7410	3.8383	1.7572	0.0600	1.5421
7	0.05	0.004	240	132	373	0.0593	32,7832	0.1580	0.7285	0.7014	2.4655	1.1025	0.0385	0.9560
8	0.05	0.007	420	183	421	0.0526	38,0905	0.1535	0.6873	0.7528	4.2656	1.6172	0.0667	1.9938

Satuan =

m

m³/s

l/min

Menit

10

Tabel 4.5. Perhitungan *Prototype Thermoelectric*

T_h	Hot Side Temperature	$^{\circ}\text{C}$
T_c	Cold Side Temperature	$^{\circ}\text{C}$
ΔT_{\max}	Maximum achievable ΔT ($T_h - T_c$)	$^{\circ}\text{K}$
α_m	Seebeck Coefficient	$\text{V}/^{\circ}\text{K}$
θ_m	Thermal Resistance	$^{\circ}\text{K}/\text{W}$
R_m	Electrical Resistance	Ω
Z	Figure of Merit	$1/^{\circ}\text{K}$
n	Efficiency Thermoelectric	$1/^{\circ}\text{K}$
Q_c	Heat Transfer at Cold Side	W
Q_h	Heat Transfer at Hot Side	W
Q_f	Heat Flux at Hot Side	W/cm^2
P_n	Heat Power	$^{\circ}\text{K}/\text{W}$

4.3.1. Figure of Merit (z)

Figure of Merit (ZT) merupakan persamaan yang terdapat pada material *Thermoelectric*, semakin besar nilai ZT maka akan semakin besar pula daya yang dihasilkan dari *Thermoelectric*. Z memiliki satuan per derajat temperature, sedangkan T merupakan satuan rata – rata temperature kerja. Berikut merupakan rumus dari persamaan ZT :

$$ZT = \alpha^2 \frac{\sigma}{\lambda} T$$

$$Z = \alpha^2 \frac{\sigma}{\lambda}$$

Keterangan =

α : koefisien Seebeck bahan (V/K)

σ : konduktivitas listrik bahan (A/Vm)

λ ; konduktivitas panas bahan (W/mK)

atau dengan menggunakan persamaan sebagai berikut
:

$$Z = \frac{\Delta T_{\max}^2}{(T_h + 273 - \Delta T_{\max})^2}$$

Keterangan =

Z : *Figure of Merit* ($1/^{\circ}\text{K}$)

ΔT_{\max} : Perbedaan Temperatur kedua sisi ($^{\circ}\text{K}$)

T_h : Temperatur sisi panas ($^{\circ}\text{C}$)

Seperti contoh perhitungan pada percobaan 8 sirkulasi paksa dalam waktu 10 menit menghasilkan Z sebesar :

$$Z = \frac{421^2}{(183 + 273 - 421)^2}$$

$$Z = 0,6873 \text{ } 1/^{\circ}\text{K}$$

4.3.2. Seebeck Coefficient (α_m)

Seebeck Coefficient (α_m) merupakan persamaan nilai yang didapatkan dari fenomena efek seebeck. Besaran nilai dari koefisien seebeck tergantung pada perbedaan temperature pada kedua sisi *Thermoelectric*. Berikut merupakan rumus dari persamaan koefisien seebeck :

$$\alpha_m = \frac{V_{\max}}{(T_h + 273)}$$

Keterangan =

α_m : Koefisien Seebeck ($\text{V}/^{\circ}\text{K}$)

V_{\max} : Tegangan maksimum *Thermoelectric* (V)

T_h : Temperatur sisi panas ($^{\circ}\text{C}$)

Seperti contoh perhitungan pada percobaan 8 sirkulasi paksa dalam waktu 10 menit menghasilkan nilai α_m sebesar :

$$\alpha_m = \frac{24}{(183 + 273)}$$

$$\alpha_m = 0,0526 \text{ V/}^\circ\text{K}$$

4.3.3. *Thermal Resistance* (θ_m)

Thermal Resistance (θ_m) merupakan nilai yang dihasilkan tahanan panas dari material *Thermoelectric* itu sendiri. Berikut merupakan rumus dari persamaan tahanan panas pada *Thermoelectric* :

$$\theta_m = \frac{2 \times (T_h + 273) \times \Delta T_{\max}}{I_{\max} \times V_{\max} \times (T_h + 273 - \Delta T_{\max})}$$

Keterangan =

θ_m : Tahanan Panas ($^\circ\text{K/W}$)

ΔT_{\max} : Perbedaan Temperatur kedua sisi ($^\circ\text{K}$)

T_h : Temperatur sisi panas ($^\circ\text{C}$)

V_{\max} : Tegangan maksimum *Thermoelectric* (V)

I_{\max} : Arus maksimum *Thermoelectric* (A)

Seperti contoh perhitungan pada percobaan 8 sirkulasi paksa dalam waktu 10 menit menghasilkan nilai θ_m sebesar :

$$\theta_m = \frac{2 \times (183 + 273) \times 421}{12 \times 24 \times (183 + 273 - 421)}$$

$$\theta_m = 38,0905 \text{ } ^\circ\text{K/W}$$

4.3.4. *Electrical Resistance* (R_m)

Electrical Resistance (R_m) merupakan nilai yang dihasilkan tahanan listrik dari *Thermoelectric* itu sendiri. Berikut merupakan rumus dari persamaan tahanan listrik pada *Thermoelectric* :

$$R_m = \frac{V_{\max} \times (T_h + 273 - \Delta T_{\max})}{I_{\max} \times (T_h + 273)}$$

Keterangan =

R_m : Tahanan Listrik *Thermoelectric* (Ω)

ΔT_{\max} : Perbedaan Temperatur kedua sisi ($^\circ\text{K}$)

T_h : Temperatur sisi panas ($^\circ\text{C}$)

V_{\max} : Tegangan maksimum *Thermoelectric* (V)

I_{\max} : Arus maksimum *Thermoelectric* (A)

Seperti contoh perhitungan pada percobaan 8 sirkulasi paksa dalam waktu 10 menit menghasilkan nilai R_m sebesar :

$$R_m = \frac{24 \times (183 + 273 - 421)}{12 \times (183 + 273)}$$

$$R_m = 0,1535 \text{ ohm}$$

4.3.5. *Efficiency Thermoelectric* (n)

Efficiency Thermoelectric (n) tergantung pada perbedaan temperatur $\Delta T = T_h - T_c$ dan juga nilai ZT .

Berikut merupakan persamaan dari efisiensi *Thermoelectric* :

$$\eta = \frac{\Delta T}{T_h} \cdot \frac{\sqrt{1 + ZT} - 1}{\sqrt{1 + ZT} + \frac{T_c}{T_h}}$$

Keterangan =

η : Efisiensi *Thermoelectric*

ΔT : Perbedaan Temperatur kedua sisi (°C)

T_c : Temperatur Sisi dingin (*Cold Side*) (°C)

T_h : Temperatur Sisi panas (*Hot Side*) (°C)

ZT : *Figure of Merit*

Seperti contoh perhitungan pada percobaan 8 sirkulasi paksa dalam waktu 10 menit menghasilkan nilai η sebesar :

$$\eta = \frac{148}{183} \cdot \frac{\sqrt{1 + 289,373} - 1}{\sqrt{1 + 289,373} + \frac{35}{183}}$$

$$\eta = 0,7528$$

4.3.6. *Heat Transfer (Q)*

Heat Transfer (Q) merupakan persamaan laju perpindahan panas pada material *Thermoelectric*. Laju perpindahan panas dimulai dari sisi panas menuju sisi dingin pada *Thermoelectric*. Pada perhitungan penelitian tugas akhir ini dibagi menjadi tiga perhitungan laju

perpindahan panas yakni *Heat Transfer Hot Side*, *Heat Transfer Cold Side*, dan *Heat Flux Hot Side*. Berikut merupakan rumus dari tiga persamaan laju perpindahan panas pada *Thermoelectric* :

Heat Transfer Hot Side

$$Q_h = \alpha_m \times I \times T_h - \frac{\Delta T}{\theta_m} - \frac{I^2 R_m}{2}$$

Keterangan :

Q_h : Laju Perpindahan Sisi Panas (W)

θ_m : Tahanan Panas ($^{\circ}\text{K}/\text{W}$)

α_m : Koefisien Seebeck ($\text{V}/^{\circ}\text{K}$)

R_m : Tahanan Listrik *Thermoelectric* (Ω)

ΔT : Perbedaan Temperatur kedua sisi

T_h : Temperatur sisi panas ($^{\circ}\text{K}$)

I : Arus *Thermoelectric* (A)

Seperti contoh perhitungan pada percobaan 8 sirkulasi paksa dalam waktu 10 menit menghasilkan nilai n sebesar :

$$Q_h = 0,0526 \times 0,34 \times 183 - \frac{148}{38,0905} - \frac{0,34^2 \cdot 0,1535}{2}$$

$$Q_h = 4,2656 \text{ W}$$

Heat Transfer Cold Side

$$Q_c = \alpha_m \times I \times T_c - \frac{\Delta T}{\theta_m} - \frac{I^2 R}{2}$$

Keterangan :

Q_h : Laju Perpindahan Sisi Panas (W)

θ_m : Tahanan Panas ($^{\circ}\text{K}/\text{W}$)

α_m : Koefisien Seebeck ($\text{V}/^{\circ}\text{K}$)

R_m : Tahanan Listrik *Thermoelectric* (Ω)

ΔT : Perbedaan Temperatur kedua sisi

T_h : Temperatur sisi panas ($^{\circ}\text{K}$)

I : Arus *Thermoelectric* (A)

Seperti contoh perhitungan pada percobaan 8 sirkulasi paksa dalam waktu 10 menit menghasilkan nilai n sebesar :

$$Q_c = 0,0526 \times 0,34 \times 35 - \frac{148}{38,0905} - \frac{0,34^2 \cdot 0,1535}{2}$$

$$Q_c = 1,6172 \text{ W}$$

Heat Flux Hot Side

$$Q_f = \frac{Q_h}{\text{Luas Permukaan Substrate}}$$

Keterangan

ΔT : Perbedaan Temperatur kedua sisi

T_h : Temperatur sisi panas ($^{\circ}\text{K}$)

I : Arus *Thermoelectric* (A)

Seperti contoh perhitungan pada percobaan 8 sirkulasi paksa dalam waktu 10 menit menghasilkan nilai n sebesar :

$$Q_f = \frac{4,2656}{64}$$

$$Q_f = 0,0667 \text{ W/cm}^2$$

4.3.7. *Heat Power (Pn)*

Heat Power (Pn) merupakan nilai yang dihasilkan dari perhitungan efisiensi dengan laju perpindahan panas *Thermoelectric*. Berikut merupakan rumus dari persamaan *Heat Power* pada *Thermoelectric* :

$$P_n = n \times Q$$

$$P_n = n \times (Q_h - Q_c)$$

Keterangan

P_n : *Heat Power Thermoelectric* (W)

n : Efisiensi *Thermoelectric*

Q_h : Laju Perpindahan Sisi Panas (W)

Q_c : Laju Perpindahan Sisi Dingin (W)

Seperti contoh perhitungan pada percobaan 8 sirkulasi paksa dalam waktu 10 menit menghasilkan nilai n sebesar :

$$P_n = 0,7528 \times (4,2656 - 1,6172)$$

$$P_n = 1,9938 \text{ W}$$

4.4. Percobaan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP)

Dalam penelitian penerapan *Prototype Thermoelectric* ke dalam *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) pada suhu ruangan 22 – 23 °C, hanya mengambil data percobaan tegangan (Volt) yang diambil tiap 5 menit selama penelitian 180 menit atau 3 jam.



Gambar 4.4. Percobaan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP)

Percobaan ini bertujuan untuk melihat hasil perbandingan antara gergaji besi tipis yang sudah diberi ICCP dengan gergaji besi tipis tanpa diberi ICCP. Sumber arus listrik berasal dari *Prototype Thermoelectric* dengan mengalirkan sumber arus listrik ke gergaji besi tipis sebagai katoda dan ke anoda Aluminium dengan percobaan siklus natural (*Natural Circulation*) pada *Heat Gun* mode 1 dengan jarak 5 cm.

Tabel 4.6. Hasil data percobaan *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)*

Percobaan ICCP					
Menit	Volt	Menit	Volt	Menit	Volt
5	0,36	65	0,75	125	0,27
10	0,51	70	0,44	130	0,30
15	0,81	75	0,47	135	0,29
20	0,27	80	0,44	140	0,29
25	0,28	85	0,34	145	0,29
30	0,29	90	0,29	150	0,29
35	0,44	95	0,29	155	0,30
40	0,46	100	0,28	160	0,30
45	0,45	105	0,28	165	0,30
50	0,40	110	0,27	170	0,29
55	0,44	115	0,25	175	0,29
60	0,47	120	0,27	180	0,30
Rata"	0,43	Rata"	0,36	Rata"	0,29

Total Rata"	0,36	Volt
-------------	------	------

Pada tabel diatas terlihat bahwa rata-rata tegangan yang ke ukur yakni 0,36 volt dengan arus berkisar 0,20 A – 0,22 A. Hal ini disebabkan karena adanya beban dari gergaji besi yang diberi anoda *Aluminium*. Untuk mengetahui rata – rata beban yang dihasilkan dapat menggunakan persamaan umum sebagai berikut :

$$R = \frac{V}{I}$$

Keterangan

R : Hambatan beban *Thermoelectric* (Ω)

I : Arus *Thermoelectric* (A)

V : Tegangan *Thermoelectric* (V)

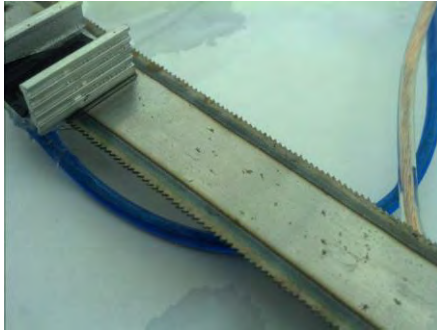
$$R = \frac{0,36}{0,20}$$

$$R = 1,8 \Omega$$

Maka didapatkan nilai rata – rata beban anoda yaitu 1,8 ohm. Adapun hasil yang didapatkan dari percobaan ICCP dapat dilihat pada gambar sebagai berikut :



Gambar 4.5. Percobaan ICCP pada gergaji besi tipis dengan Anoda



Gambar 4.6. Hasil percobaan gergaji besi tipis dengan ICCP

Pada percobaan gergaji besi dengan menggunakan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) diatas terlihat bahwa gergaji besi tidak timbul korosi, hanya saja timbul bintik-bintik hitam hal ini dikarenakan tidak adanya lapisan coating pada gergaji besi sehingga listrik yang dihantarkan kurang baik dengan hambatan pada gergaji besi 100%. Sedangkan pada gergaji besi tanpa *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) dibawah terlihat bahwa gergaji besi mengalami korosi hingga pengerusan pada bagian gergaji besi tersebut.



Gambar 4.7. Hasil percobaan gergaji besi tipis tanpa ICCP

4.5. Pembahasan Grafik Percobaan

Setelah dilakukan percobaan dan perhitungan pada penelitian tugas akhir ini, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisa data dan grafik terkait hal tersebut.

Adapun grafik yang akan dibahas pada penelitian tugas akhir ini terdiri dari dua bagian, yaitu :

1. Grafik Percobaan *Prototype Thermoelectric*
2. Grafik Percobaan *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)*

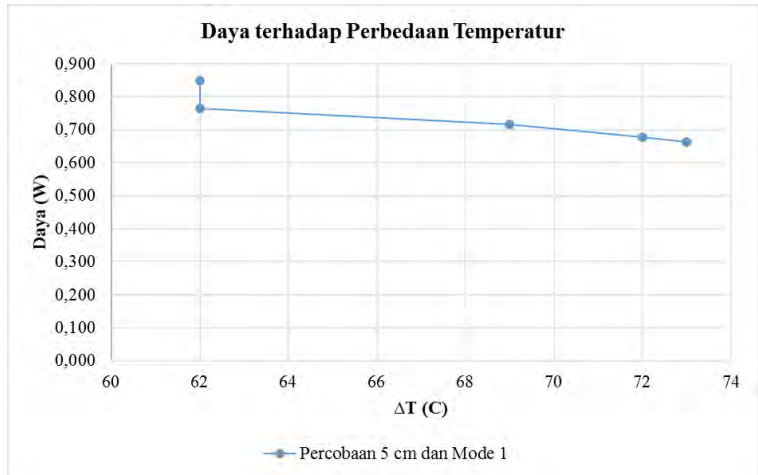
4.5.1. Grafik Percobaan *Prototype Thermoelectric*

Hasil dari percobaan dari *Natural Circulation* (Sirkulasi Natural) dan *Force Circulation* (Sirkulasi Paksa) dapat dilihat pada Tabel 4.5 sampai Tabel 4.8, sedangkan hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10.

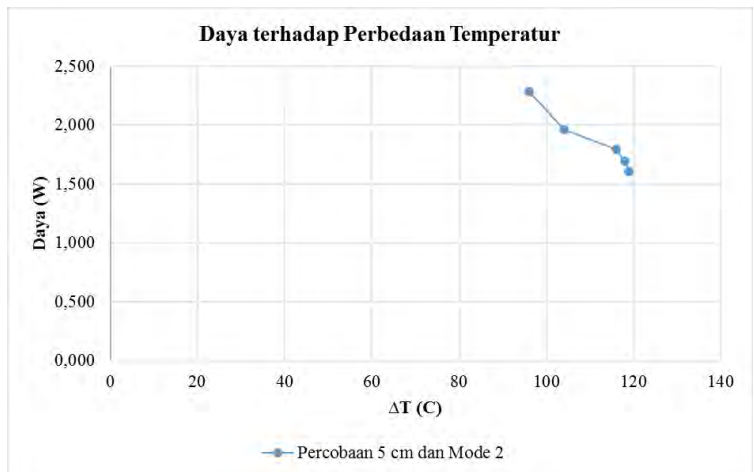
Adapun yang akan dianalisa pada percobaan *Natural Circulation* dan *Force Circulation* adalah sebagai berikut :

Daya *Thermoelectric* terhadap Perbedaan Temperatur

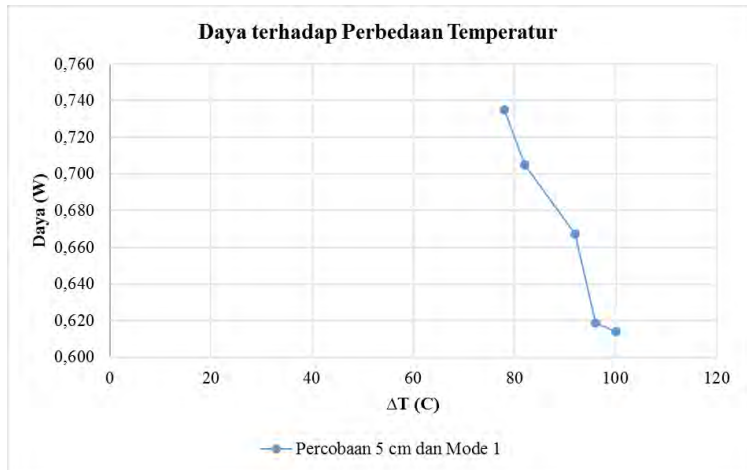
Sumber arus listrik yang dikeluarkan dari *Thermoelectric* berupa tegangan, arus, dan daya. Semakin tinggi perbedaan temperatur (ΔT) maka semakin besar juga sumber arus listrik yang dihasilkan. Tetapi pada percobaan tugas akhir ini didapatkan hasil keluaran sumber arus listrik yang berbanding terbalik dengan perbedaan temperatur (ΔT). Seperti contoh pada grafik percobaan sirkulasi natural dan sirkulasi paksa dengan jarak Heat Gun 5 cm dalam waktu 10 menit :



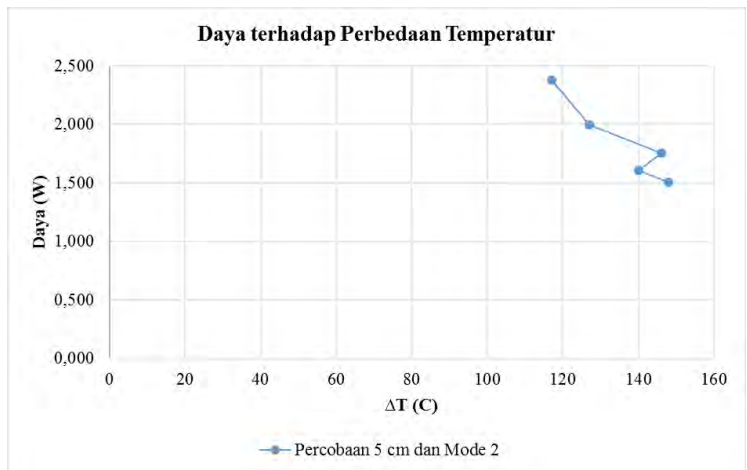
Grafik 4.1. Daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Natural Circulation* 5 cm Mode 1



Grafik 4.2. Daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Natural Circulation* 5 cm Mode 2



Grafik 4.3. Daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Force Circulation* 5 cm Mode 1

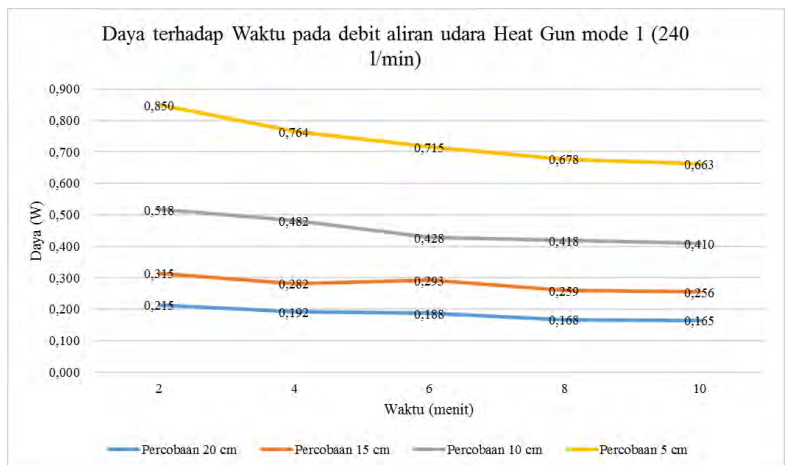


Grafik 4.4. Daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Force Circulation* 5 cm Mode 2

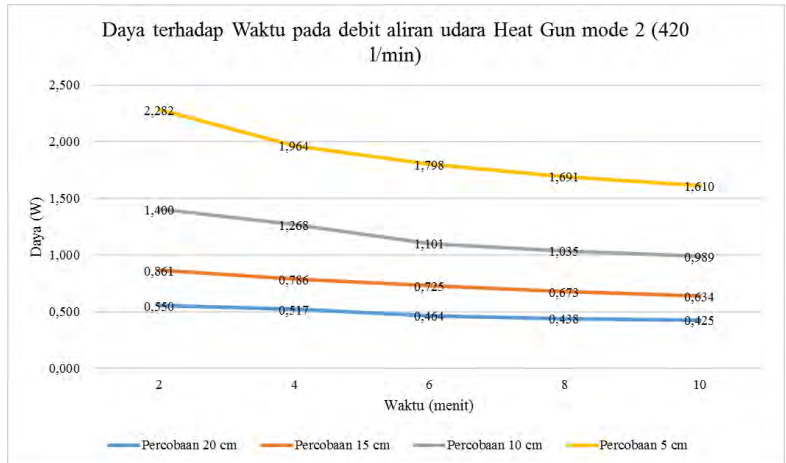
Pada grafik diatas terlihat bahwa daya terhadap perbedaan temperatur (ΔT) berbanding terbalik. Hal ini disebabkan Sisi Dingin *Thermoelectric* (T_c) tidak terhantar hingga *Heat Sink* bagian belakang hingga menyebabkan udara panas berkumpul pada antara sirip – sirip *Heat Sink* depan dengan *Heat Sink* belakang, sehingga perbedaan temperatur ini seharusnya menurun sehingga daya juga menurun.

Daya *Thermoelectric* terhadap Waktu

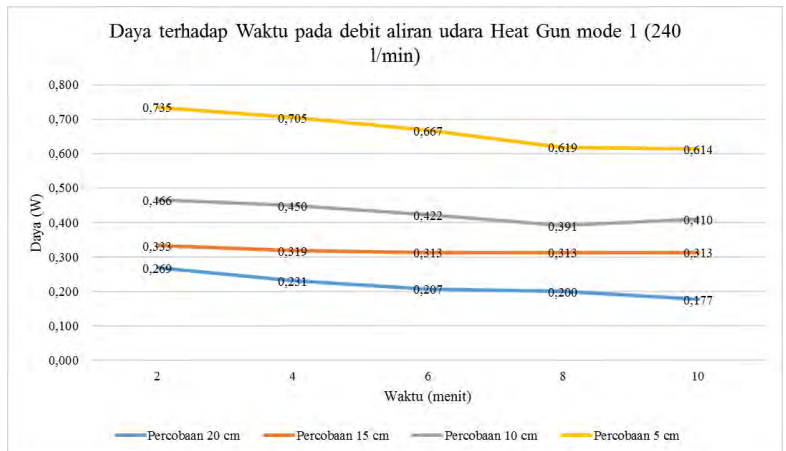
Semakin lama waktu dalam percobaan maka semakin konstan juga perbedaan temperatur yang dihasilkan. Pada percobaan tugas akhir ini didapatkan daya menurun mendekati konstan dalam waktu 10 menit. Seperti pada grafik percobaan sirkulasi natural dan sirkulasi paksa yang diambil dalam waktu 10 menit :



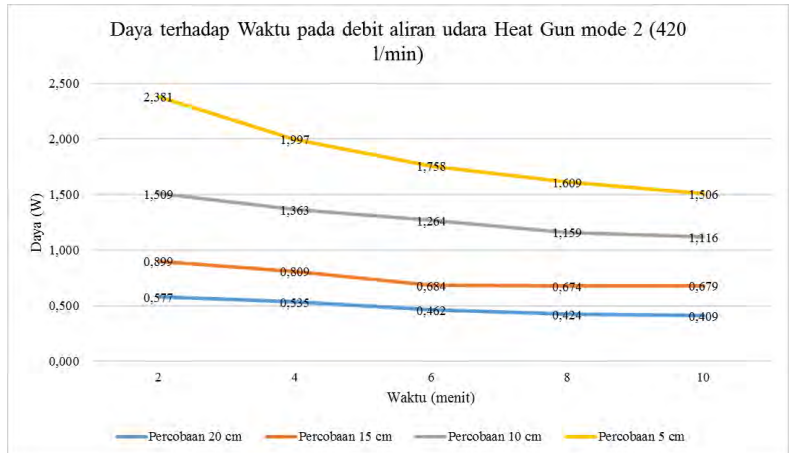
Grafik 4.5. Daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Natural Circulation – Heat Gun Mode 1*



Grafik 4.6. Daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Natural Circulation* – Heat Gun Mode 2



Grafik 4.7. Daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Force Circulation* – Heat Gun Mode 1



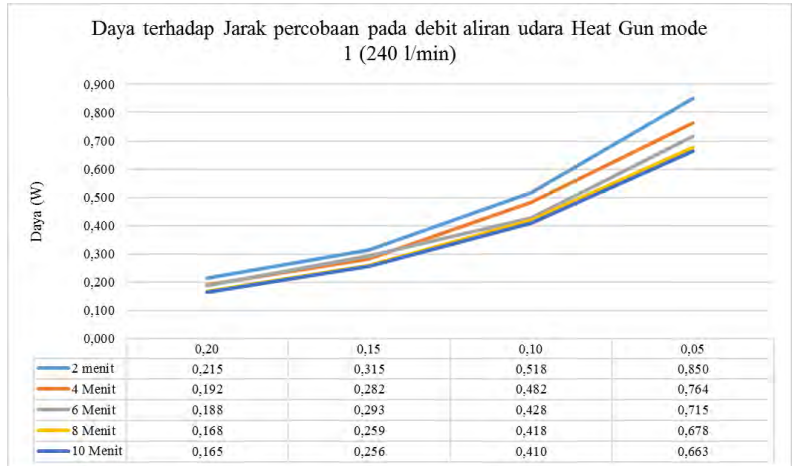
Grafik 4.8. Daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Force Circulation – Heat Gun Mode 2*

Pada grafik diatas terlihat bahwa daya terhadap waktu percobaan selama 10 menit berbanding terbalik mendekati konstan. Pada percobaan 5 cm terlihat penurunan yang besar akibat temperatur yang terus memanaskan tidak mendekati konstan, hal ini disebabkan Sisi Dingin *Thermoelectric* (T_c) tidak terhantar hingga *Heat Sink* bagian belakang hingga menyebabkan udara panas berkumpul pada antara sirip – sirip *Heat Sink* depan dengan *Heat Sink* belakang, sehingga daya yang dihasilkan juga menurun.

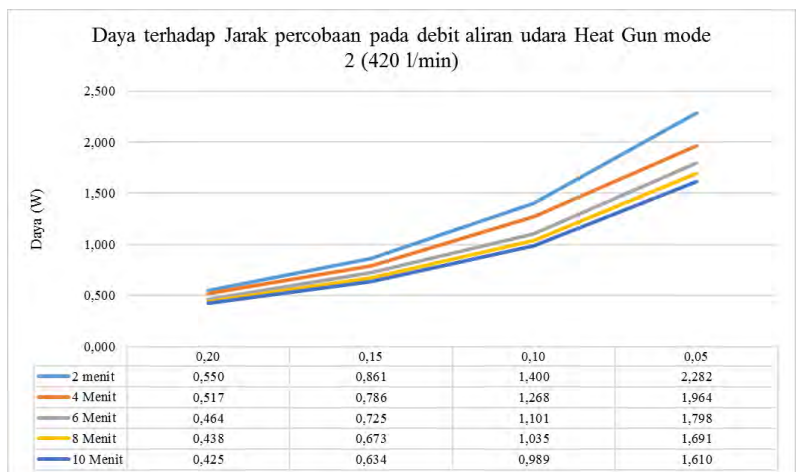
Daya *Thermoelectric* terhadap Jarak Percobaan

Semakin dekat jarak *Heat Gun* dalam percobaan maka semakin tinggi juga daya yang dihasilkan. Pada percobaan tugas akhir ini didapatkan daya meningkat apabila jarak *Heat Gun* di dekatkan. Seperti pada grafik percobaan

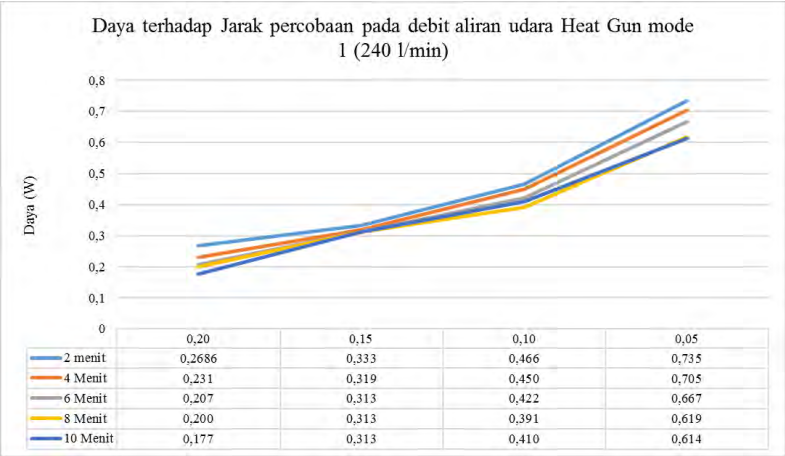
sirkulasi natural dan sirkulasi paksa yang diambil dalam waktu 10 menit :



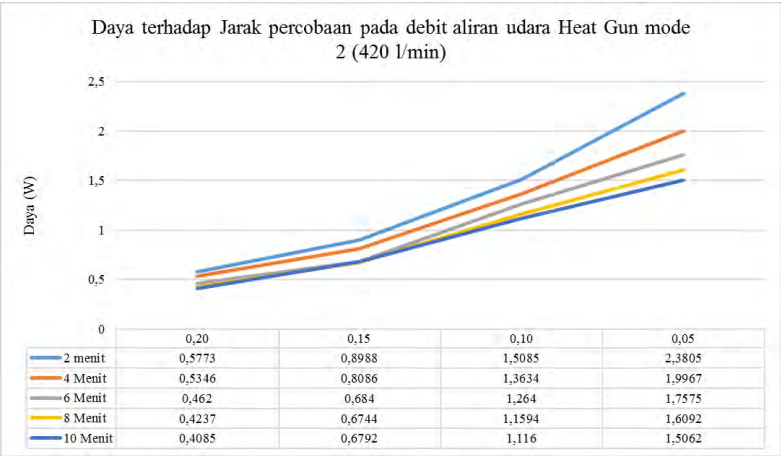
Grafik 4.9. Daya terhadap Jarak *Heat Gun* pada percobaan *Natural Circulation – Heat Gun Mode 1*



Grafik 4.10. Daya terhadap Jarak *Heat Gun* pada percobaan *Natural Circulation – Heat Gun Mode 2*



Grafik 4.11. Daya terhadap Jarak *Heat Gun* pada percobaan *Force Circulation – Heat Gun Mode 1*

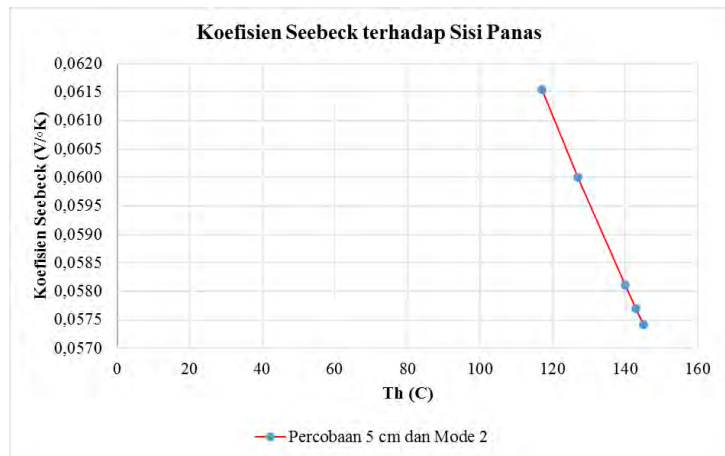


Grafik 4.12. Daya terhadap Jarak *Heat Gun* pada percobaan *Force Circulation – Heat Gun Mode 1*

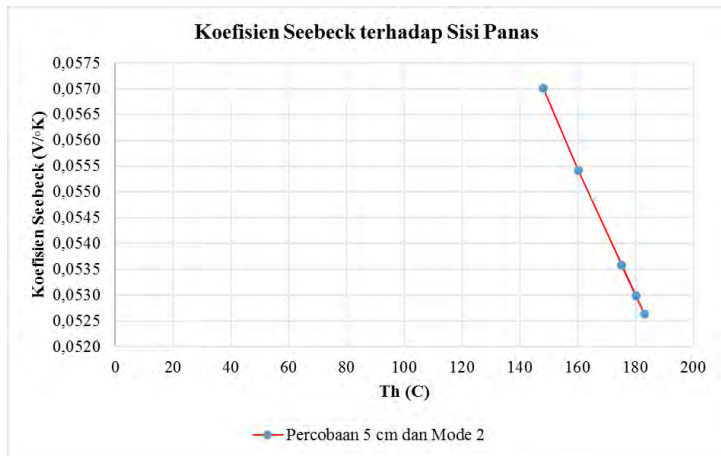
Pada grafik diatas terlihat bahwa semakin dekat jarak *Heat Gun* pada *Prototype Thermoelectric* maka semakin tinggi juga daya yang dihasilkan, hal ini dikarenakan fluida pemanas yang digunakan berupa udara panas dimana udara sendiri termasuk kedalam *Compressible Fluid*. Jadi semakin dekat jarak percobaan maka panas yang diterima *Thermoelectric* juga semakin maksimal.

Seebeck Coefficient terhadap Temperatur Sisi Panas

Nilai dari koefisien seebeck bergantung pada material *Thermoelectric* dan juga panas yang dihasilkan dari *Hot Side Thermoelectric*. Semakin panas sisi panas pada *Thermoelectric* maka semakin menurun juga nilai dari koefisien seebeck tersebut. Seperti contoh pada grafik percobaan sirkulasi natural dan sirkulasi paksa dengan jarak *Heat Gun* 5 cm, debit aliran udara *Heat Gun* mode 2 (420 l/min) dalam waktu 10 menit :



Grafik 4.13. Koefisien Seebeck terhadap Sisi Panas pada percobaan *Natural Circulation* 5 cm Mode 2



Grafik 4.14. Koefisien Seebeck terhadap Sisi Panas pada percobaan *Force Circulation* 5 cm Mode 2

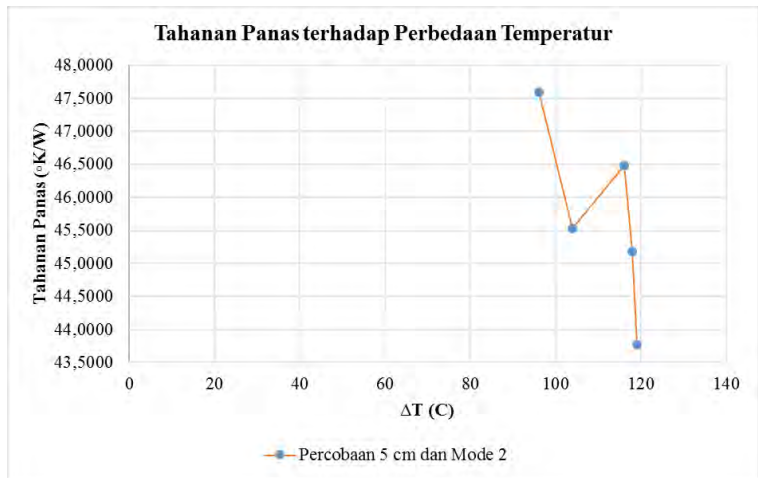
Pada grafik diatas terlihat bahwa koefisien seebeck terhadap temperatur sisi panas *Thermoelectric* dalam waktu 10 menit berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan persamaan koefisien seebeck pada perhitungan 4.6.2 :

$$\alpha_m = \frac{V_{max}}{(T_h + 273)}$$

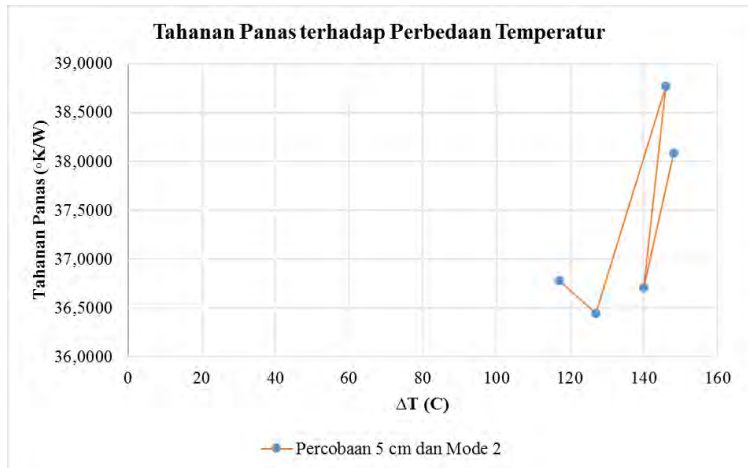
Semakin tinggi temperatur pada sisi panas *Thermoelectric* maka semakin kecil juga nilai koefisien seebeck yang dihasilkan.

Thermal Resistance terhadap Perbedaan Temperatur

Nilai dari tahanan panas bergantung pada material dari *Thermoelectric*, panas yang dihasilkan dari *Hot Side Thermoelectric*, dan juga perbedaan temperatur (ΔT) dari *Thermoelectric*. Semakin tinggi nilai dari temperatur sisi panasnya maka semakin kecil nilai dari tahanan panas tersebut. Seperti contoh pada grafik percobaan sirkulasi natural dan sirkulasi paksa dengan jarak Heat Gun 5 cm, debit aliran udara *Heat Gun* mode 2 (420 l/min) dalam waktu 10 menit :



Grafik 4.15. Tahanan Panas terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Natural Circulation* 5 cm Mode 2



Grafik 4.16. Tahanan Panas terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Force Circulation* 5 cm Mode 2

Pada grafik diatas terlihat bahwa tahanan panas terhadap perbedaan temperatur *Thermoelectric* dalam waktu 10 menit sangat dipengaruhi oleh nilai T_h dan ΔT . Hal ini sesuai dengan persamaan tahanan panas pada perhitungan 4.6.3 :

$$\theta_m = \frac{2 \times (T_h + 273) \times \Delta T_{\max}}{I_{\max} \times V_{\max} \times (T_h + 273 - \Delta T_{\max})}$$

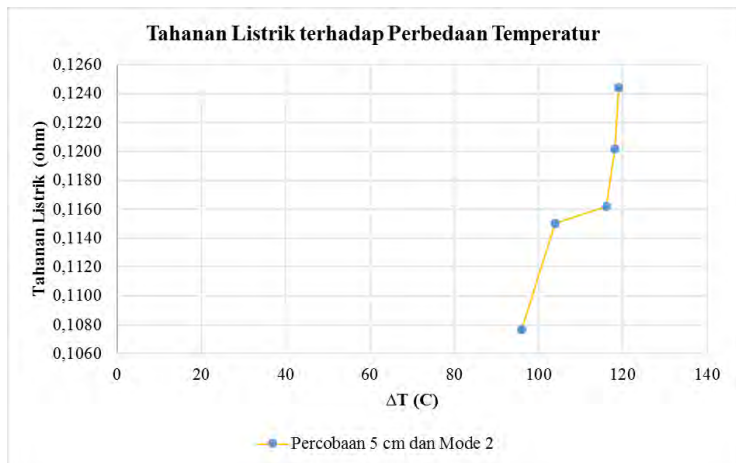
Nilai tahanan panas pada percobaan Sirkulasi Natural lebih besar dibandingkan pada percobaan Sirkulasi Paksa, hal ini disebabkan adanya proses sirkulasi paksa dari *Air Conditioner* untuk menghembuskan sirip – sirip dari *Prototype Thermoelectric*.

Nilai tahanan panas sangat dipengaruhi dari nilai Sisi Panas *Thermoelectric* (T_h), semakin tinggi T_h yang

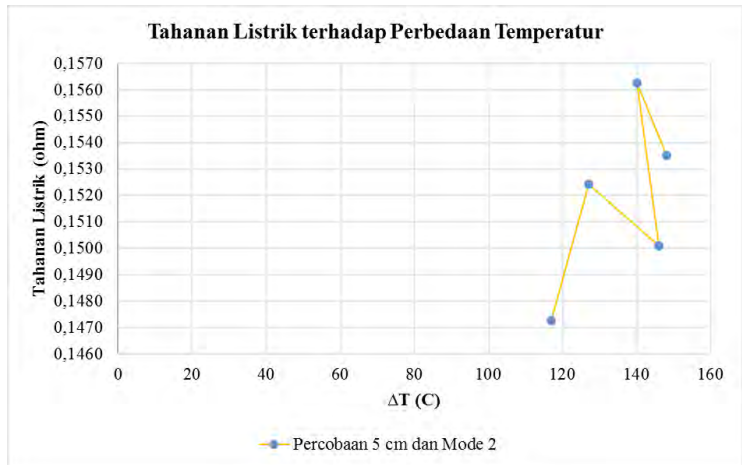
dihasilkan maka semakin tinggi juga tahanan panas yang dihasilkan pada *Thermoelectric*.

Electrical Resistance terhadap Perbedaan Temperatur

Nilai dari tahanan listrik bergantung pada material dari *Thermoelectric*, panas yang dihasilkan dari *Hot Side Thermoelectric*, dan juga perbedaan temperatur (ΔT) dari *Thermoelectric*. Semakin tinggi nilai dari temperatur sisi panasnya maka semakin tinggi juga nilai dari tahanan listrik tersebut. Seperti contoh pada grafik percobaan sirkulasi natural dan sirkulasi paksa dengan jarak Heat Gun 5 cm, debit aliran udara *Heat Gun* mode 2 (420 l/min) dalam waktu 10 menit :



Grafik 4.17. Tahanan Listrik terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Natural Circulation* 5 cm Mode 2



Grafik 4.18. Tahanan Listrik terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Force Circulation* 5 cm Mode 2

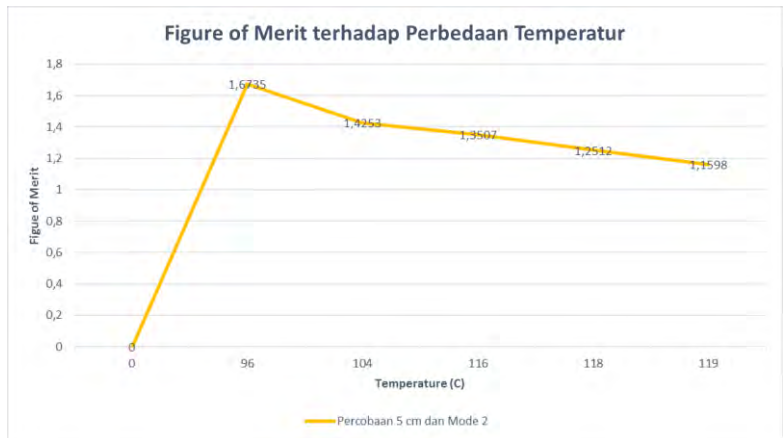
Pada grafik diatas terlihat bahwa tahanan listrik terhadap perbedaan temperatur *Thermoelectric* dalam waktu 10 menit sangat dipengaruhi oleh nilai T_h dan ΔT . Hal ini sesuai dengan persamaan tahanan panas pada perhitungan 4.6.4 :

$$R_m = \frac{V_{\max} \times (T_h + 273 - \Delta T_{\max})}{I_{\max} \times (T_h + 273)}$$

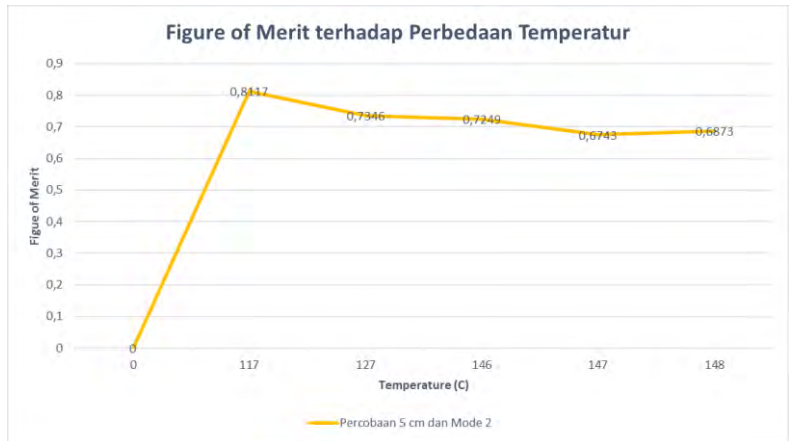
Nilai pada Tahanan listrik berbanding terbalik dengan nilai pada Tahanan panas, semakin tinggi nilai tahanan panas yang dihasilkan maka semakin kecil nilai dari tahanan listrik pada *Thermoelectric* tersebut.

Figure of Merit terhadap Perbedaan Temperatur

Figure of Merit (ZT) merupakan persamaan yang terdapat pada material *Thermoelectric*, semakin besar nilai ZT maka akan semakin besar pula daya yang dihasilkan dari *Thermoelectric*. Z memiliki satuan per derajat temperatur, sedangkan T merupakan satuan rata – rata temperatur kerja. Seperti contoh pada grafik percobaan sirkulasi natural dan sirkulasi paksa dengan jarak Heat Gun 5 cm, debit aliran udara *Heat Gun* mode 2 (420 l/min) dalam waktu 10 menit :



Grafik 4.19. *Figure of Merit* terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Natural Circulation* 5 cm Mode 2



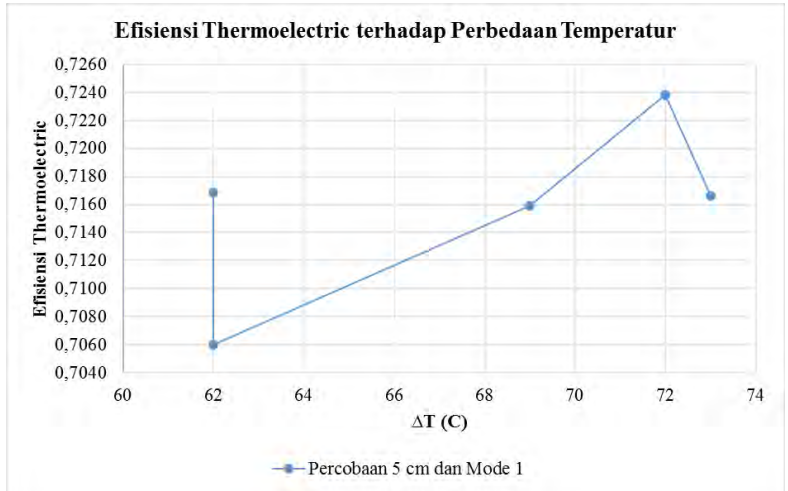
Grafik 4.20. *Figure of Merit* terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Force Circulation* 5 cm Mode 2

Pada grafik diatas terlihat bahwa titik puncak dari *figure of merit* pada sirkulasi natural ada di 96°C sedangkan pada sirkulasi paksa ada di 117°C dengan perbedaan nilai 2x lipat. Nilai Z bergantung pada material semi konduktor yang digunakan pada *Thermoelectric*, setiap material semi konduktor pada *Thermoelectric* memiliki titik maksimum tersendiri.

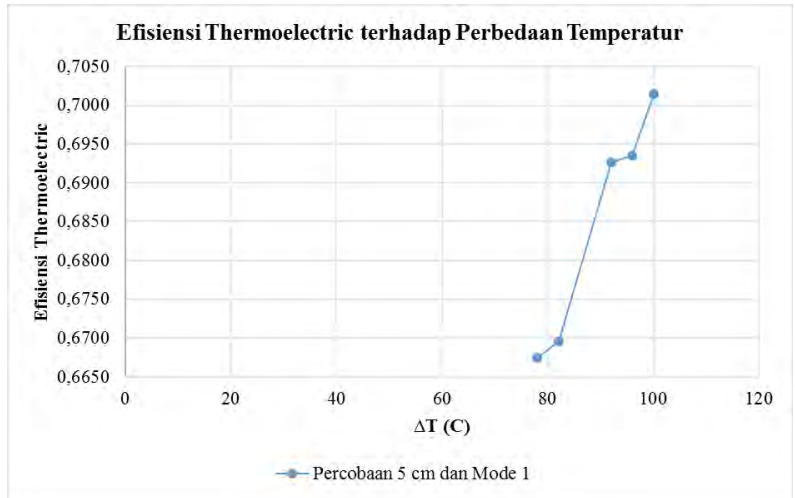
Efisiensi Thermoelectric terhadap Perbedaan Temperatur

Nilai pada Efisiensi *Thermoelectric* bergantung pada nilai dari perbedaan temperatur dan nilai dari *figure of merit* (ZT). Semakin tinggi nilai perbedaan temperatur dan ZT maka semakin tinggi juga nilai dari efisiensi *Thermoelectric*. Seperti contoh pada grafik percobaan

sirkulasi natural dan sirkulasi paksa dengan jarak Heat Gun 5 cm, debit aliran udara *Heat Gun* mode 1 (240 l/min) dalam waktu 10 menit :



Grafik 4.21. *Efisiensi Thermoelectric* terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Natural Circulation* 5 cm Mode 1



Grafik 4.22. Efisiensi Thermoelectric terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Force Circulation* 5 cm Mode 1

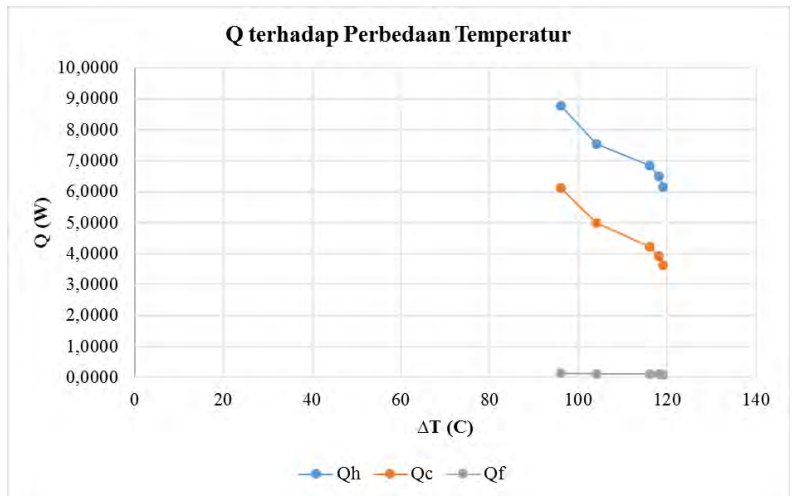
Pada grafik diatas terlihat bahwa efisiensi *Thermoelectric* terhadap perbedaan temperatur *Thermoelectric* dalam waktu 10 menit sangat dipengaruhi oleh nilai T_h dan ΔT . Hal ini sesuai dengan persamaan tahanan panas pada perhitungan 4.6.5 :

$$\eta = \frac{\Delta T}{T_h} \cdot \frac{\sqrt{1 + ZT} - 1}{\sqrt{1 + ZT} + \frac{T_c}{T_h}}$$

Pada grafik diatas terlihat laju efisiensi pada percobaan *Force Circulation* jauh lebih baik dibandingkan *Natural Circulation*.

Heat Transfer terhadap Perbedaan Temperatur

Heat Transfer (Q) pada penelitian tugas akhir ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu *Heat Transfer Hot Side* (Q_h), *Heat Transfer Cold Side* (Q_c), dan *Heat Flux Hot Side* (Q_f). Semakin tinggi nilai dari perbedaan temperatur maka semakin kecil juga nilai dari *Heat Transfer* tersebut. Seperti contoh pada grafik percobaan sirkulasi natural dengan jarak Heat Gun 5 cm, debit aliran udara *Heat Gun* mode 2 (420 l/min) dalam waktu 10 menit :



Grafik 4.23. *Heat Transfer* terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Natural Circulation* 5 cm Mode 1

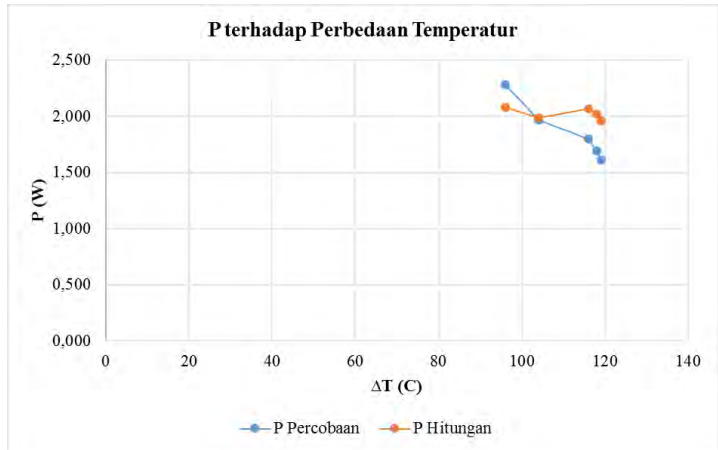
Pada grafik diatas terlihat bahwa *Heat Transfer* terhadap perbedaan temperatur semakin menurun pada tiap 2 menitnya. Berikut merupakan hasil data dari grafik diatas :

Qh	Qc	Qf
8,7718	6,1134	0,1371
7,5462	4,9878	0,1179
6,8558	4,2268	0,1071
6,4997	3,9128	0,1016
6,1524	3,6244	0,0961
W	W	W/cm2

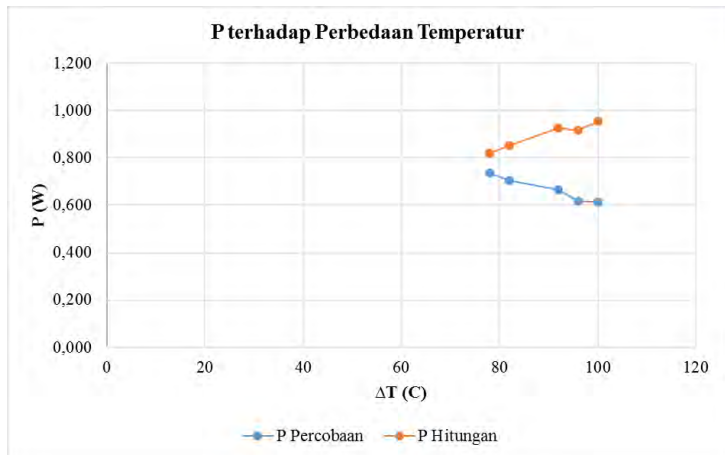
Pada data tersebut terlihat bahwa laju perpindahan panas menurun tiap 2 menitnya, hal ini disebabkan Sisi Dingin *Thermoelectric* (Tc) tidak terhantar hingga *Heat Sink* bagian belakang hingga menyebabkan udara panas berkumpul pada antara sirip – sirip *Heat Sink* depan dengan *Heat Sink* belakang, sehingga perbedaan temperatur ini seharusnya menurun sehingga daya juga menurun.

Daya Percobaan terhadap Daya Perhitungan

Sumber arus listrik yang dikeluarkan dari *Thermoelectric* berupa daya. Daya percobaan tersebut kemudian dibandingkan dengan daya perhitungan antara efisiensi *Thermoelectric* dengan *Heat Transfer*. Apabila daya tersebut saling mendekati maka bisa dikatakan percobaan tersebut mendekati perhitungan. Seperti contoh pada grafik percobaan sirkulasi natural dan sirkulasi paksa dengan jarak Heat Gun 5 cm dan debit aliran Heat Gun 240 l/min (Mode 1) dalam waktu 10 menit :



Grafik 4.24. Perbandingan daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Natural Circulation* 5 cm Mode 1



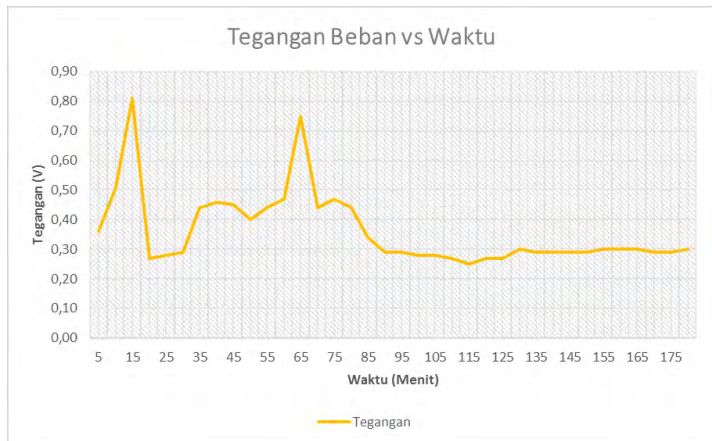
Grafik 4.25. Perbandingan daya terhadap Perbedaan Temperatur pada percobaan *Force Circulation* 5 cm Mode 1

Pada grafik diatas terlihat bahwa seharusnya daya percobaan mendekati daya perhitungan, tetapi daya percobaan menurun dibandingkan daya perhitungan. Hal ini dikarenakan adanya kesalahan dalam penelitian dimana nilai ΔT yang diperoleh tidak sesuai dengan perhitungan.

4.5.2. Analisa Percobaan *Impressed Current Cathodic Protection*

Percobaan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) dilakukan dengan menerapkan percobaan Natural Circulation dengan Heat Gun mode 1 (debit 240 l/min) dan berjarak 5 cm pada gergaji besi yang sudah diberi anoda *Alumunium* dalam waktu 3 jam. Hasil dari percobaan dari *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tegangan Beban terhadap Waktu



Grafik 4.26. Tegangan Beban terhadap Waktu pada percobaan ICCP

Pada grafik diatas terlihat terjadi kenaikan Tegangan Beban pada menit ke 25 dan 65, hal ini disebabkan adanya perbedaan temperatur yang tinggi diantara *Hot Side* dan *Cold Side Thermoelectric*. Semakin tinggi perbedaan temperatur yang dicapai maka semakin tinggi juga sumber arus listrik yang dihasilkan. Pada menit ke 85 Tegangan Beban terlihat konstan di angka 0,30 V, dimana hal ini menunjukkan perbedaan temperatur pada *Thermoelectric* cukup konstan.

Total rata-rata tegangan yang dihasilkan yakni 0,36 V, maka dapat diketahui beban pada ICCP dengan rumusan sebagai berikut :

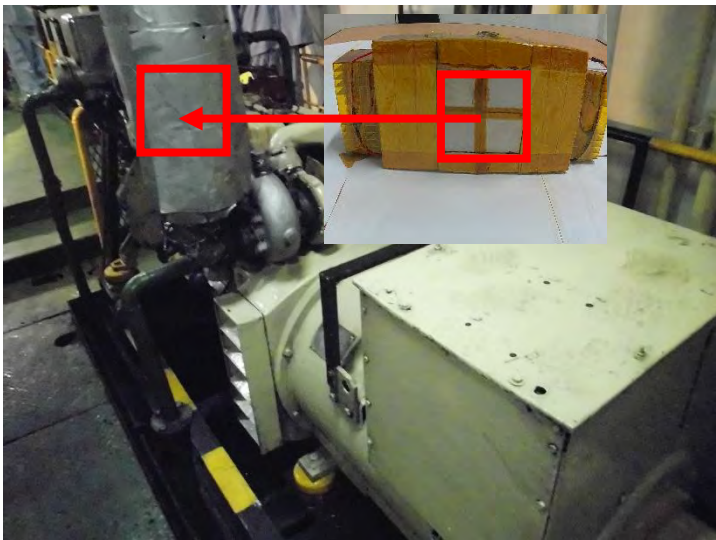
$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{0,36}{0,20}$$

$$R = 1,8 \, \Omega$$

4.6. Aplikasi *Thermoelectric* di Dunia Maritim

Sejauh ini di dunia kemaritiman khususnya perkapalan belum ada yang memanfaatkan *Thermoelectric* sebagai sumber arus listrik tambahan. Pada penelitian tugas akhir ini *Thermoelectric* nantinya akan digunakan sebagai proteksi katodik metode arus paksa (ICCP) pada kapal – kapal dengan memanfaatkan gas buang pada mesin bantu kapal. Proteksi katodik arus paksa yang selama ini digunakan memanfaatkan sumber arus listrik dari mesin bantu kapal dengan menggunakan *Power Supply Unit (Rectifier)* yang dialirkan ke anoda kapal (+) dan pelat kapal (-).



Gambar 4.8. Penerapan *Prototype Thermoelectric* pada gas buang mesin bantu

Untuk pemasangan *Prototype Thermoelectric* dilakukan dengan cara memotong *Insulation* pada gas buang mesin bantu

sesuai dengan ukuran seperti gambar di atas. Terdapat dua cara dalam penerapan *Prototype Thermoelectric* ini yaitu dengan cara sirkulasi natural (*Natural Circulation*) atau sirkulasi paksa (*Force Circulation*). Sirkulasi natural dilakukan dengan cara memasang *Prototype Thermoelectric* di gas buang dengan memanfaatkan udara kamar mesin sebagai media pendingin dengan temperatur berkisar 25°C dan media panas gas buang dengan temperatur 300 – 400 °C, sedangkan Sirkulasi paksa dilakukan dengan cara menambahkan aliran udara *Ventilation* untuk menghembuskan sirip – sirip *Prototype Thermoelectric* sebagai perantara media pendingin dengan temperatur berkisar 23°C.

Adam Dipta Mahendra (2012) melakukan suatu penelitian tentang pemanfaatan panel surya sebagai sumber arus listrik *Impressed Current Cathodic Protection* untuk kapal wahana bawah laut. Adapun data kapal pembanding yang digunakan pada tugas akhir ini yakni :

LIVE FISH CARRIER “WELLBOAT” IRISH FLAG

- LPP : 30,6 m
- LWL : 32,8 m
- Lebar : 7,5 m
- Tinggi : 5,7 m
- Sarat : 4,2 m
- Kecepatan : 14 Knot

Dengan melakukan perhitungan kebutuhan ICCP berdasarkan “DET NORSKE VERITAS RECOMMENDED PRACTICE DNV-RP-B401”, maka didapatkan perhitungan sebagai berikut :

1. Menentukan luas permukaan yang akan diproteksi

Luas permukaan yang akan diproteksi merupakan luas permukaan basah dari kapal itu sendiri, maka didapatkan luas permukaan basah pada kapal tersebut berdasarkan *Maxsurf* yakni 396,077 m²

2. Menentukan Faktor *Breakdown Coating*

Jika $f_c = 0$, maka lapisan tersebut memiliki hambatan 100%, dan membuat kemampuan mengalirnya arus menjadi 0, sebaliknya jika $f_c = 1$, berarti lapisan pelindung tidak memiliki hambatan arus sama sekali. Faktor *breakdown coating* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$f_c = (a + b) \times t_c$$

$$f_c = (0,02 + 0,012) \times 3$$

$$f_c = 0,096$$

Keterangan :

f_c = Faktor *breakdown coating*

a = Konstanta *coating*

b = Konstanta *coating*

t_c = Umur desain *coating* [tahun]

3. Menentukan kebutuhan arus proteksi

Kebutuhan arus proteksi dihitung untuk mempertahankan proteksi selama umur desain yang diharapkan. Berikut perhitungan kebutuhan arus proteksi rata – rata yang dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$I_c = A_c \times i_c \times f_c$$

$$I_c = 396,077 \times 0,07 \times 0,096$$

$$I_c = 2,662 \text{ A}$$

Keterangan :

I_c = Kebutuhan arus proteksi [A]

A_c = Luasan yang diproteksi [m^2]

i_c = Kerapatan arus rata-rata [A/m^2]

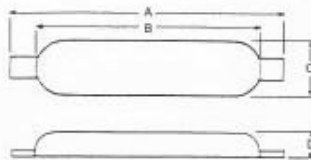
f_c = Faktor *breakdown coating*

4. Menentukan massa total anoda yang dibutuhkan

Berat total anoda yang dibutuhkan untuk mempertahankan proteksi katodik selama waktu desain dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

Aluminium Anode

Type	Dimension BxCxD	Weight (kg)
W 130	270x150x30	3.2
W 111	395x150x30	5.2
W 114	550x127x50	9.8
W 117	550x130x65	11.6
W 119	550x130x75	14.1



Gambar 4.9. Asmarines Alumunium Anodes

Anoda yang digunakan yaitu Anoda Alumunium W114

$$Ma = \frac{I_c \times t_f \times 8760}{u \times \epsilon}$$

$$Ma = \frac{2,662 \times 3 \times 8760}{0,8 \times 2000}$$

$$Ma = 14,57 \text{ kg}$$

Keterangan :

Ma = Massa total anoda [kg]

Ic = Kebutuhan arus proteksi [A]

tf = Umur desain anoda [tahun]

8760 = Konstanta, dari pertahun dijadikan perjam
(365 hari x 24 jam)

u = Faktor guna anoda

ε = Efisiensi elektrokimia dari material anoda
[Ah/kg]

5. Menentukan jumlah anoda yang dibutuhkan

Setelah massa anoda terhitunga, maka untuk memenuhi massa anoda proteksi, jumlah anoda yang diperlukan dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$N = \frac{Ma}{Ma'}$$

$$N = \frac{14,57}{9,8}$$

$$N = 4 \text{ anoda}$$

Keterangan :

N = Jumlah anoda yang dibutuhkan

Ma = Massa total anoda [kg]

Ma' = Massa bersih 1 buah anoda yang dipilih [kg].

6. Menentukan besar tahanan

a. Perhitungan tahanan anoda total

$$R_{at} = \frac{0,315 \times \rho}{\sqrt{A}} \times N$$

$$R_{at} = \frac{0,315 \times 1,3}{\sqrt{0,2074}} \times 4$$

$$R_{at} = 4,011 \text{ ohm}$$

Keterangan :

Ra = Tahanan anoda [ohm]

ρ = Resistivitas air laut [ohm-m]
1,3 [ohm-m]

A = Luas permukaan anoda [m]
 $2 (p_l + p_t + l_t)$ [m]

N = Jumlah anoda

b. Perhitungan tahanan kabel

$$R_c = \frac{L_c \times R_e}{N \times c}$$

Dikarenakan panjang kabel, dan jumlah pada kabel tidak diketahui maka nilai diasumsikan sebagai berikut :

$$R_c = 0,305 \text{ ohm}$$

Keterangan :

Rc = Besar tahanan pada kabel [ohm]
0,305 [ohm]

Lc = Panjang kabel [m]

Re = Tahanan spesifik kabel [ohm/m]

N = Jumlah kabel yang diparalel

C = Jumlah inti pada kabel

c. Perhitungan tahanan total

$$R_t = R_{at} + R_c$$

$$R_t = 4,011 + 0,305$$

$$R_t = 4,316 \text{ ohm}$$

Keterangan :

R_t = Besar tahanan total [ohm]

R_{at} = Besar tahanan pada anoda elektrolit [ohm]

R_c = Besar tahanan pada kabel [ohm]

7. Menentukan besarnya kebutuhan suplai tegangan

a. Perhitungan tegangan yang dibutuhkan

Berikut merupakan persamaan untuk menghitung tegangan yang dibutuhkan :

$$V_A = |(I_c \times R_t) \times (1 + SF)| + B_{emf}$$

$$V_A = |(2,662 \times 4,316) \times (1 + 0,2)| + 2$$

$$V_A = 15,79 \text{ V}$$

Keterangan :

V_A = Tegangan yang dibutuhkan [volt]

I_c = Total kebutuhan arus proteksi [A]

R_t = Total hambatan sirkuit DC [ohm]

SF = Faktor keamanan [20%]

B_{emf} = Tegangan balik [2 volt]

b. Perhitungan rugi tegangan

Pada setiap panjang kabel umumnya terdapat kehilangan tegangan karena terjadinya *losses* pada tegangan yang disuplai, agar dipastikan

bahwa setiap anoda mendapatkan suplai tegangan yang dibutuhkan. Dikarenakan panjang kabel, jumlah kabel, dan spesifikasi kabel tidak diketahui maka nilai rugi tegangan dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$V_{LT} = V_{L1} + V_{L2}$$

$$V_{LT} = 1,5 \text{ V}$$

Keterangan :

V_{LT} = Total rugi pada instalasi [volt]

V_{L1} = Rugi tegangan pada kabel dari anoda ke *Junction Box* [volt]

V_{L2} = Rugi tegangan pada kabel dari *Junction Box* ke DPU [volt]

c. Perhitungan tegangan total

Tegangan total merupakan total keseluruhan dari tegangan yang dibutuhkan dengan rugi tegangan yang terjadi pada instalasi

$$V_{TOT} = V_A + V_{LT}$$

$$V_{TOT} = 15,79 + 1,5$$

$$V_{TOT} = 17,29 \text{ V}$$

Keterangan :

V_{TOT} = Tegangan total yang dibutuhkan [volt]

V_A = Tegangan yang dibutuhkan [volt]

V_{LT} = Total rugi pada instalasi [volt]

8. Menentukan besarnya kebutuhan suplai daya

Besarnya daya yang digunakan untuk mensuplai kebutuhan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) dapat diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P_a &= I_C \times V_{TOT} \times \cos \phi \times 1,5 \\
 P_a &= 2,662 \times 17,29 \times 0,8 \times 1,5 \\
 P_a &= 55,21 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Keterangan =

P_a : Daya yang dibutuhkan instalasi anoda [watt]

I_C : Kebutuhan arus proteksi (A).

V_{TOT} : Tegangan total yang dibutuhkan (volt)

$\cos \phi$: Konstanta

1,5 = Faktor keamanan

Didapatkan hasil kebutuhan ICCP pada kapal *Live Fish Carrier "Wellboat" Irish Flag* tersebut yaitu dengan arus **2,66 A** dan tegangan **17,29 V** pada desain umur *coating* **3 Tahun** dan umur anoda **3 Tahun**.

Pada penelitian tugas akhir ini didapatkan nilai kapasitas arus dan tegangan rata – rata dari percobaan *Prototype Thermoelectric* yaitu arus 0,48 A dan tegangan 4,76 V. Maka untuk memenuhi kebutuhan ICCP pada kapal *Live Fish Carrier* tersebut dibutuhkan *Prototype Thermoelectric* sebanyak 10 unit *Prototype Thermoelectric* dengan urutan pemasangan sebagai berikut :

Seri :

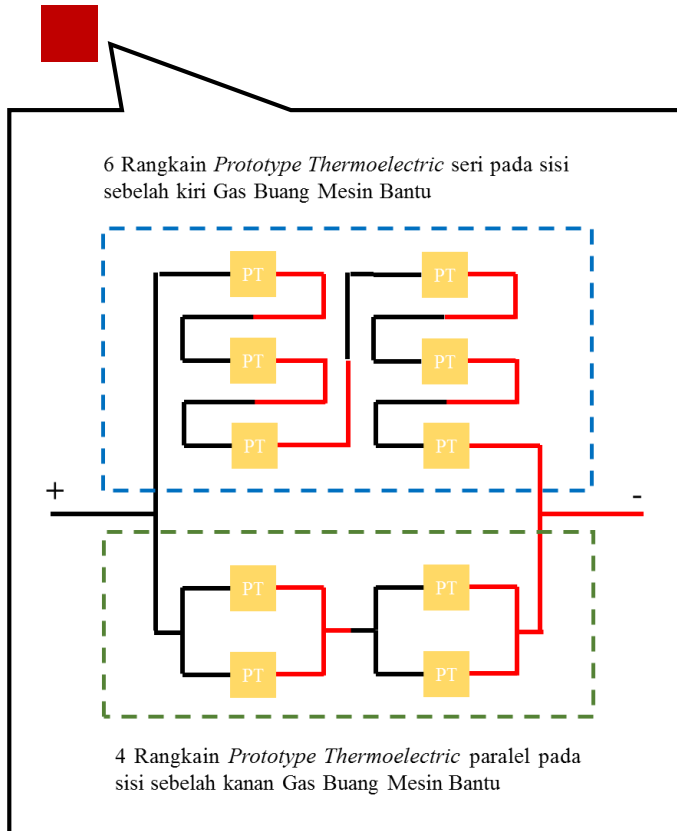
- 6 *Prototype Thermoelectric* disusun seri maka menghasilkan kapasitas sebesar 2,88 A dan 4,76 V

Paralel :

- 4 *Prototype Thermoelectric* disusun paralel maka menghasilkan kapasitas sebesar 0,78 A dan 19,04 V

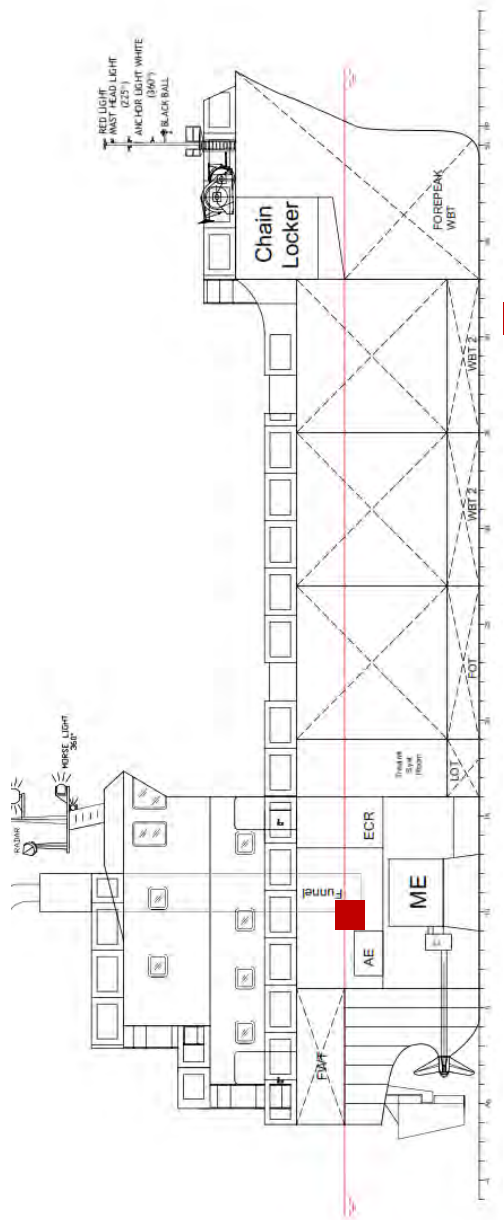
Maka penyambungan terakhir dilakukan secara paralel antara 6 *Prototype Thermoelectric* seri dan 4 *Prototype*

Thermoelectric paralel untuk menghasilkan kapasitas total sumber arus listrik sebesar **2,88 A** dan **23,80 V**.

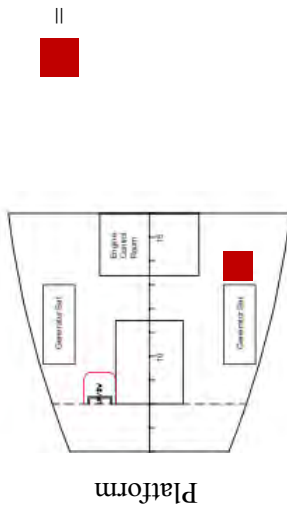


Gambar 4.10. Rangkain 10 unit *Prototype Thermoelectric* pada kapal *Live Fish Carrirer "Wellboat" Irish Flag*

Berikut merupakan penempatan *Prototype Thermoelectric* yang telah dirangkai pada kapal *Live Fish Carrirer "Wellboat" Irish Flag* :

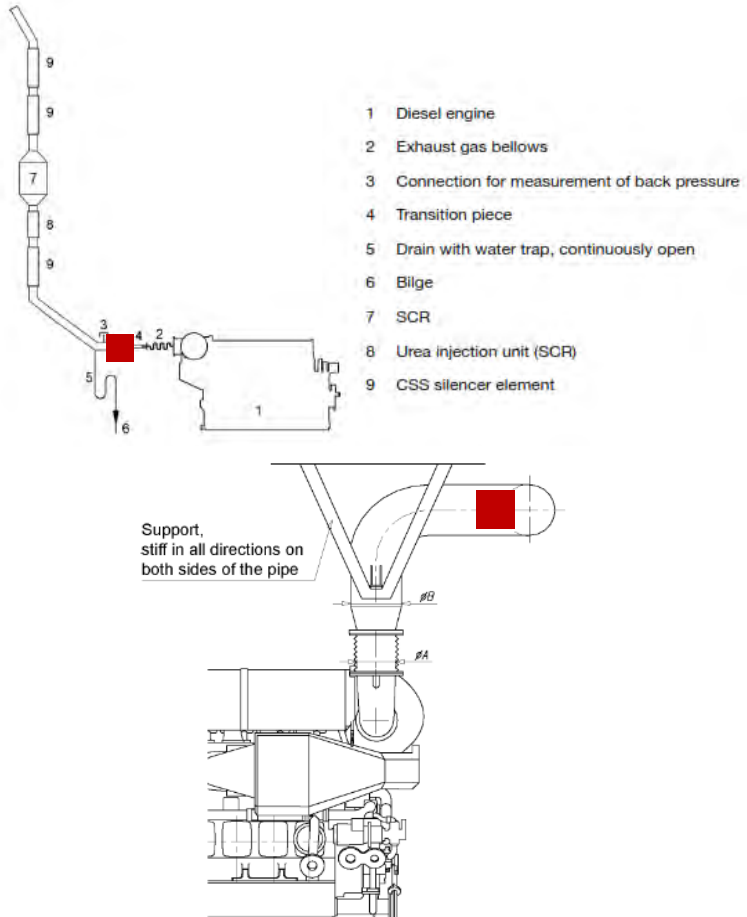


Peletakkan 10 unit Rangkaian *Prototype Thermoelectric* pada Gas Buang Mesin Bantu utama yang terletak pada *Engine Room - Platform*



Gambar 4.11. General Arrangement *Live Fish Carrier "Wellboat" Irish Flag*

Penempatan *Prototype Thermoelectric* terletak pada gas buang mesin bantu pada bagian sesudah *Transistion Piece* dan sebelum memasuki *CSS Silencer Elemet*, seperti contoh pada gambar mesin bantu Wartsila Auxpac berikut :



Gambar 4.12. Penempatan *Prototype Thermoelectric* pada gas buang mesin bantu Wartsila Auxpac

Prototype Thermoelectric ini dapat bekerja maksimal pada perbedaan temperature $70^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ dengan konstruksi solder maksimum 138°C , maka *Prototype Thermoelectric* dapat diletakkan pada *Insulation* dari gas buang dengan memotong bagian *Covering Plate* sesuai bagian dari *Thermoelectric* itu sendiri. *Insulation* pada pipa gas buang biasanya menggunakan bahan *Mineral Wool* atau *Stone Wool*, sedangkan *Covering Plate* biasanya menggunakan *Alumunium*

Seperti contoh dengan menggunakan *Stone Wool* produksi Paroc Pro Section 100 pada gas buang mesin bantu Wartsila Auxpac 4L20 maka dibutuhkan *Insulation* dengan ketebalan 300 mm dengan *Thermal Conductivity* $0,083 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ pada temperature pipa gas buang 300°C . Dengan temperature *Insulation* berkisar diantara $90^{\circ}\text{C} - 120^{\circ}\text{C}$ maka 10 unit *Prototype Thermoelectric* yang sudah dirangkai dapat bekerja maksimal dengan menghasilkan kapasitas sumber arus listrik berkisar **2,88 A** dan **23,80 V** untuk kebutuhan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) pada kapal *Live Fish Carrirer "Wellboat" Irish Flag* dengan desain umur *coating* **3 tahun** dan anoda **3 tahun**.

Stone wool pipe sections					
Product	Maximum operating temperature $^{\circ}\text{C}$ ¹⁾	Thermal conductivity (W/mK) Mean temperature			
		10°C	100°C	200°C	300°C
PAROC Hvac Section AluCoat T	250	0.034	0.042	0.059	-
PAROC Pro Section 100	750	0.034	0.042	0.059	0.083
PAROC Pro Section 140	750	0.037	0.043	0.057	0.077

Gambar 4.13. Tabel PAROC *Stone Wool Pipe Insulation*

Selain dengan penyusunan rangkaian, adapun beberapa cara untuk menaikkan tingkat kapasitas dari *Thermoelectric Generator* yaitu dengan cara sebagai berikut :

1. Pemasangan *Heat Sink* dan pemberian *Thermal Pasta* yang sempurna

Pemasangan *Heat Sink* dan pemberian *Thermal Pasta* bertujuan untuk membuang udara panas yang berada pada sisi dingin *Thermoelectric*. Semakin lancar pembuangan udara panas pada sisi dingin *Thermoelectric* maka semakin besar juga perbedaan temperatur yang dihasilkan.

2. Memperbesar dimensi dari *Thermoelectric*

Semakin besar dimensi dari *Thermoelectric* maka semakin banyak juga Semi Konduktor yang terkandung dalam *Thermoelectric* tersebut. Banyaknya semi konduktor menimbulkan peningkatan dari kapasitas sumber arus listrik yang dihasilkan.

3. Memperbesar dimensi dari Semi Konduktor *Thermoelectric*

Semakin besar dimensi dari Semi Konduktor pada *Thermoelectric* maka semakin besar juga kapasitas sumber arus listrik yang dihasilkan.

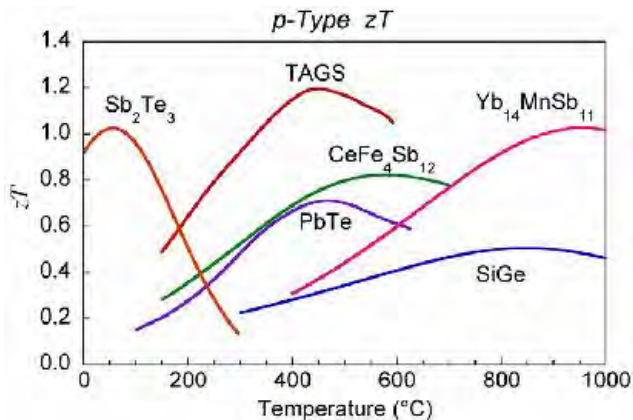
4. Pemilihan jenis bahan konstruksi solder pada *Thermoelectric*

Pemilihan bahan konstruksi solder sangat penting dalam *Thermoelectric*, hal ini dikarenakan tanpa adanya konstruksi solder dalam *Thermoelectric* maka elektron yang ada pada semi konduktor ketika dipanaskan tidak dapat mengalir antar semi konduktor yang lainnya. Konstruksi bahan solder sangat bergantung dari kegunaan kerja dari *Thermoelectric* itu sendiri, seperti pada penelitian ini menggunakan *Thermoelectric* jenis TEC-12706 dengan bahan solder temperatur maksimum 138°C. Apabila temperatur

kerja yang kita gunakan tidak lebih dari 138°C , maka *Thermoelectric* ini cocok untuk digunakan.

5. Pemilihan jenis bahan material dari Semi Konduktor Thermoelectric

Bahan material Semi Konduktor sangat penting dalam berperan sebagai pembangkit listrik, hal ini dikarenakan efisiensi dari *Thermoelectric* sangat bergantung pada material dari semi konduktor tersebut. Material dari Semi Konduktor sangat bergantung dengan temperatur kerja yang kita gunakan, seperti contoh pada Gambar 2.11. berikut :



Setiap material Semi Konduktor memiliki efisiensi tertinggi sendiri seperti contoh pada Antimony Telluride (Sb_2Te_3) memiliki titik tertinggi efisiensinya yaitu pada temperatur berkisar 70°C - 100°C . Apabila bahan tersebut digunakan pada suhu melebihi 70°C - 100°C maka efisiensi tersebut akan terus menurun.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini dilakukan dengan membuat *Prototype Thermoelectric* terlebih dahulu dengan dua variasi percobaan yaitu sirkulasi natural (*Natural Circulation*) dan sirkulasi paksa (*Force Circulation*), kemudian dilanjutkan dengan penerapan *Prototype Thermoelectric* kedalam *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP).

Berdasarkan hasil percobaan dan analisa perhitungan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Pada percobaan *Prototype Thermoelectric* didapatkan nilai tertinggi pada debit aliran udara *Heat Gun* 420 l/min (Mode 2) dengan jarak 5 cm pada percobaan sirkulasi paksa rata-rata dalam waktu 10 menit yaitu 4,76 volt dan 0,48 ampere, sedangkan pada percobaan sirkulasi natural rata-rata dalam waktu 10 menit yaitu 4,65 volt dan 0,46 ampere.
2. *Prototype Thermoelectric* yang dibuat pada penelitian tugas akhir ini memiliki pembuangan udara panas yang buruk sehingga sumber arus listrik yang dihasilkan juga ikut menurun.
3. Pada percobaan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) didapatkan hasil rata-rata tegangan yang keluar dari *Prototype Thermoelectric* yaitu 0,36 volt dan 0,20 ampere, hal ini disebabkan adanya beban yang tersambung pada saat pengukuran sehingga dapat dihitung kapasitas beban yakni 1,8 ohm.
4. Untuk memproteksi katodik pada kapal *Live Fish Carrier "Wellboat" Irish Flag* maka dibutuhkan arus dan tegangan sebesar 2,66 ampere dan 17,29 volt pada desain umur *coating* 3 tahun dan anoda 3 tahun, sehingga untuk mencukupi kebutuhan tersebut dibutuhkan *Prototype*

Thermoelectric sebanyak 10 unit dengan susunan rangkaian 6 seri dan 4 paralel, kemudian rangkaian akhir disusun paralel sehingga menghasilkan kapasitas total arus dan tegangan sebesar 2,88 ampere dan 23,80 volt.

5.2. Saran

Tidak ada sesuatu yang sempurna termasuk hasil dari penelitian ini. Namun demi tercapainya hasil yang lebih baik pada penelitian-penelitian berikutnya, berikut saran-saran untuk penelitian berikutnya:

1. *Prototype Thermoelectric* sebaiknya dirancang dengan mempertimbangkan beberapa faktor diantaranya faktor dimensi *Thermoelectric*, material *Thermoelectric*, dan konstruksi solder dari *Thermoelectric* sehingga tidak membutuhkan banyak *Thermoelectric* dalam pembuatannya.
2. *Prototype Thermoelectric* sebaiknya menggunakan *Thermoelectric Generator* bukan menggunakan *Thermoelectric Cooling* sebagai pembangkit listriknya, dikarenakan *Thermoelectric Cooling* memiliki temperature konstruksi solder yang rendah sehingga apabila terkena suhu melebihi batas maksimal maka konstruksi solder tersebut akan rusak sehingga sumber arus listrik yang dihasilkan juga ikut menurun.
3. Pada pembuatan *Prototype Thermoelectric* sebagai sumber arus listrik seharusnya mempertimbangkan *Heat Sink* dan *Thermal Pasta* yang akan digunakan, dikarenakan kedua hal ini berfungsi sebagai pembuangan udara panas yang ada pada *Thermoelectric*.
4. Perlu dilakukan pengkajian ulang terkait penerapan *Thermoelectric* pada *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP), beserta perhitungan kebutuhan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) pada kapal.

Lampiran

Spesifikasi TEC-12706



Hebei I.T. (Shanghai) Co., Ltd.

**Thermoelectric
Cooler**

TEC1-12706

Performance Specifications

Hot Side Temperature (° C)	25° C	50° C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax (° C)	66	75
I _{max} (Amps)	6.4	6.4
V _{max} (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30



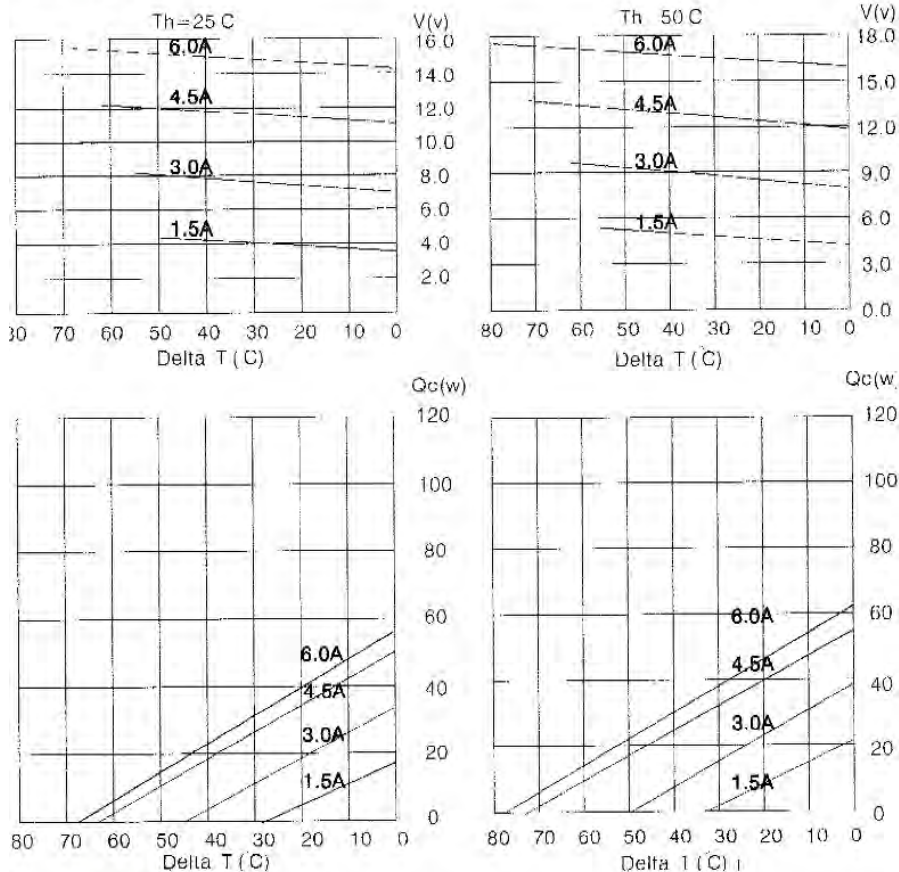


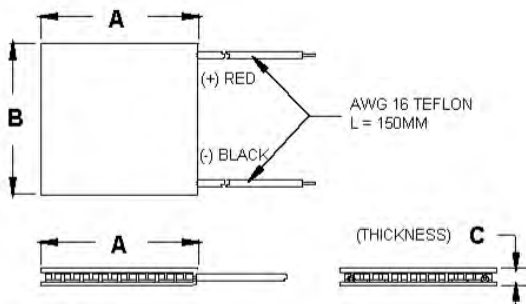
Hebei I.T. (Shanghai) Co., Ltd.

Thermoelectric
Cooler

TEC1-12706

Performance curves:





Ceramic Material: Alumina (Al_2O_3)

Solder Construction: 138°C, Bismuth Tin (BiSn)

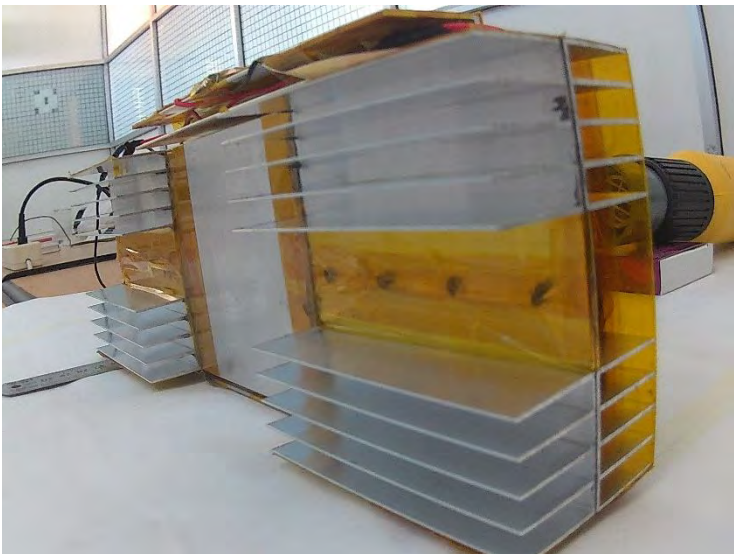
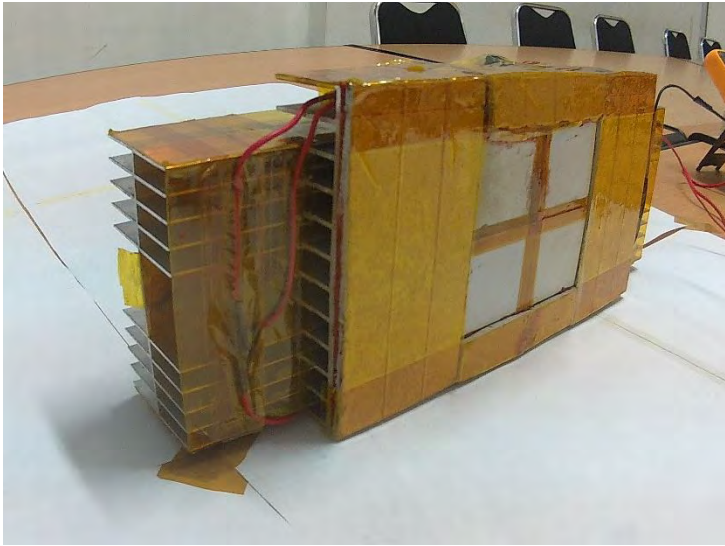
Size table:

A	B	C			
40	40	3.9			

Operating Tips

- Max. Operating Temperature: 138°C
- Do not exceed I_{max} or V_{max} when operating module.
- Life expectancy: 200,000 hours
- Please consult HB for moisture protection options (sealing).
- Failure rate based on long time testings: 0.2%.

Prototype Thermoelectric



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini dilakukan dengan membuat *Prototype Thermoelectric* terlebih dahulu dengan dua variasi percobaan yaitu sirkulasi natural (*Natural Circulation*) dan sirkulasi paksa (*Force Circulation*), kemudian dilanjutkan dengan penerapan *Prototype Thermoelectric* kedalam *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP).

Berdasarkan hasil percobaan dan analisa perhitungan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Pada percobaan *Prototype Thermoelectric* didapatkan nilai tertinggi pada debit aliran udara *Heat Gun* 420 l/min (Mode 2) dengan jarak 5 cm pada percobaan sirkulasi paksa rata-rata dalam waktu 10 menit yaitu 4,76 volt dan 0,48 ampere, sedangkan pada percobaan sirkulasi natural rata-rata dalam waktu 10 menit yaitu 4,65 volt dan 0,46 ampere.
2. *Prototype Thermoelectric* yang dibuat pada penelitian tugas akhir ini memiliki pembuangan udara panas yang buruk sehingga sumber arus listrik yang dihasilkan juga ikut menurun.
3. Pada percobaan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) didapatkan hasil rata-rata tegangan yang keluar dari *Prototype Thermoelectric* yaitu 0,36 volt dan 0,20 ampere, hal ini disebabkan adanya beban yang tersambung pada saat pengukuran sehingga dapat dihitung kapasitas beban yakni 1,8 ohm.
4. Untuk memproteksi katodik pada kapal *Live Fish Carrier "Wellboat" Irish Flag* maka dibutuhkan arus dan tegangan sebesar 2,66 ampere dan 17,29 volt pada desain umur *coating* 3 tahun dan anoda 3 tahun, sehingga untuk mencukupi kebutuhan tersebut dibutuhkan *Prototype*

Thermoelectric sebanyak 10 unit dengan susunan rangkaian 6 seri dan 4 paralel, kemudian rangkaian akhir disusun paralel sehingga menghasilkan kapasitas total arus dan tegangan sebesar 2,88 ampere dan 23,80 volt.

5.2. Saran

Tidak ada sesuatu yang sempurna termasuk hasil dari penelitian ini. Namun demi tercapainya hasil yang lebih baik pada penelitian-penelitian berikutnya, berikut saran-saran untuk penelitian berikutnya:

1. *Prototype Thermoelectric* sebaiknya dirancang dengan mempertimbangkan beberapa faktor diantaranya faktor dimensi *Thermoelectric*, material *Thermoelectric*, dan konstruksi solder dari *Thermoelectric* sehingga tidak membutuhkan banyak *Thermoelectric* dalam pembuatannya.
2. *Prototype Thermoelectric* sebaiknya menggunakan *Thermoelectric Generator* bukan menggunakan *Thermoelectric Cooling* sebagai pembangkit listriknya, dikarenakan *Thermoelectric Cooling* memiliki temperature konstruksi solder yang rendah sehingga apabila terkena suhu melebihi batas maksimal maka konstruksi solder tersebut akan rusak sehingga sumber arus listrik yang dihasilkan juga ikut menurun.
3. Pada pembuatan *Prototype Thermoelectric* sebagai sumber arus listrik seharusnya mempertimbangkan *Heat Sink* dan *Thermal Pasta* yang akan digunakan, dikarenakan kedua hal ini berfungsi sebagai pembuangan udara panas yang ada pada *Thermoelectric*.
4. Perlu dilakukan pengkajian ulang terkait penerapan *Thermoelectric* pada *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP), beserta perhitungan kebutuhan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) pada kapal.

DAFTAR PUSTAKA

Soepomo, Heri, 1995. **Diktat Kuliah Korosi**,. Surabaya :
Jurusan Teknik Perkapalan

Roberge, P.R, 1999. **Handbook of Corrosion Engineering**,. New York : Mc Graw-Hill Book Company.

Trethewey, KR dan J. Chamberlain, 1991. **Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan**

W.V. Baeckmann, 1997. **Handbook of Cathodic Corrosion Protection 3rd Edition**,.

Mulyowidodo, Kartidjo, 1996. **Mekatronika HIDS**,.
Bandung

L. Lazzari and P. Pedefferri, 2006. **Cathodic Protection 1st Edition**,.

Mihmidaty, Nia, 2006. **Analisis Desain Perlindungan Korosi Eksternal pada Subsea Pipeline dengan Sistem Sacrificial Anode**,. Surabaya : ITS

Snyder, G. Jeffrey, 2008. **Small Thermoelectric Generator**,. The Electrochemical Society

Mahendra, Adam Dipa, 2012. **Analisa Teknis dan Ekonomis Penggunaan Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) dengan Memanfaatkan Tenaga Solar Cell untuk Meminimalisir Korosi pada Wahana Bawah Laut**,. Surabaya : Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS

Wiludin, Afif, 2013. **Analisa Teknis dan Ekonomis Penggunaan ICCP (Impressed Current Cathodic Protection) Dibandingkan dengan Sacrificial Anode dalam Proses Pencegahan Korosi**,. Surabaya : Jurusan Teknik Perkapalan ITS

Rahmasari, Diana dan Frederica, Lisa, 2014. **Laporan Kerja Praktek Chevron Indonesia Company**,. Balikpapan : Jurusan Teknik Kimia UGM

Rahman, Muhammad Fajrul, 2014. **Laporan Kerja Praktek I – PT Janata Marina Indah,.** Semarang :
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS

Rahman, Muhammad Fajrul, 2015. **Laporan Kerja Praktek II Chevron Indonesia Company,.** Balikpapan :
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS

DNV-RP-B401, 2010. **Recommended Practice Cathodic Protection Design**

Cathodic Protection co Limited, **Cathodic Protection an Overview**

Cathelco C-Shields, **ICCP Hull Corrosion Protection Systems**

Komatsu Technical Report, **Material Thermoelectric**

Melcor, **Thermoelectric Handbook**

Ajwiguna, Tri Ayodha, 2014. **Dasar Perhitungan Termoelektrik (*Thermoelectric*) /Elemen Panas Dingin,,** <http://catatan-teknik.blogspot.co.id/2014/06/dasar-perhitungan-termoelektrik.html> (diakses tanggal 10-07-2016)

Hi-Z Technology, 2014. **HZ-2 Thermoelectric Module,,** <http://www.hi-z.com/hz-2.html> (diakses tanggal 08-07-2016)

Anonymus, 2013. **Thermoelectric Cooler (TEC) Performance Calculator,,** <https://viveksilwal.wordpress.com/thermoelectric-module-tem-performance-calculator/> (diakses tanggal 11-07-2016)

PT. Anugrah Sukses Marine, 2015. **Zinc Anode & Aluminium Anode,,** <http://www.asmarines.com/zinc-anode-and-aluminium-anode> (diakses tanggal 26-07-2016)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Cirebon, Jawa Barat, pada tanggal 11 Mei 1994. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Terlahir dengan nama Muhammad Fajrul Rahman dari pasangan Samsul Hadi dan Garna Rumia Pudjawati. Riwayat pendidikan formal yang telah ditempuh adalah SDN Bima Cirebon, SMPN 1 Cirebon, SMAN 4 Cirebon. Setelah lulus dari SMA tahun 2012, penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi, dan diterima di Jurusan

Teknik Sistem Perkapalan – Fakultas Teknologi Kelautan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya jenjang Strata I (S1). Penulis mengambil konsentrasi bidang keahlian Marine Machinery and System (MMS). Selama perkuliahan, penulis aktif pada kegiatan yang sifatnya akademis dan non akademis. Penulis aktif di organisasi ekstrakurikuler mahasiswa ITS (WE&T ITS) sebagai Wakil Ketua Entrepreneur Development periode 2012-2013, Kampus Peduli Surabaya sebagai Fund Rising periode 2012-2013 dan Asistant Laboratorium (Grader) MMS pada bidang Water Piping System periode 2014-2015. Penulis juga aktif di berbagai kegiatan seminar dan pelatihan bertaraf nasional maupun internasional. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek di Janata Marina Indah Semarang dan Chevron Indonesia Company Balikpapan.

Muhammad Fajrul Rahman
4212100141

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS
fajrul@engineer.com